

**CATÁLOGO Y GUÍA TÉCNICA PARA
LA IMPLEMENTACIÓN DE
COMPONENTES Y ELEMENTOS
INDUSTRIALIZADOS EN
PROYECTOS DE SALUD**

ÍNDICE

PARTE 1: GENERALIDADES

1	PREFACIO	7
1.1	DESAFÍOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE PROYECTOS DE SALUD	7
1.2	QUIÉNES PARTICIPARON EN EL DESARROLLO DE ESTA GUÍA	8
2	INTRODUCCIÓN	9
2.1	RESUMEN EJECUTIVO	10
3	DEFINICIONES INICIALES	11
3.1	GLOSARIO	11
3.2	SISTEMAS INDUSTRIALIZADOS EXISTENTES	13
3.3	INTEGRACIÓN TEMPRANA Y CONCURRENTE DE LOS ACTORES DEL PROCESO	13
1	PROCESO	15
3.4	ETAPAS DEL PROCESO	15
3.5	CREACIÓN DE VALOR	17
4	ENFOQUE DE MANUFACTURA	19
4.1	RECOMENDACIONES PARA EL DISEÑO BASADO EN LA MANUFACTURA Y MONTAJE – DFMA	19
4.1.1	Bases de diseño basado en la manufactura y montaje	19
4.1.2	Objetivos de DfMA	21
4.1.3	Principios de DfMA	22
4.1.4	Etapas de DfMA	23
4.2	RECOMENDACIONES PARA LA PRODUCCIÓN LEAN	27
4.2.1	Bases de Producción Lean	28
4.2.2	Principios de Producción Lean	29
4.2.3	Prácticas Lean para la implementación de herramientas	30

PARTE 2: GUÍA TÉCNICA PARA INDUSTRIALIZACIÓN EN PROYECTOS HOSPITALARIOS

1	CAPÍTULO 1: SELECCIÓN DE RECINTOS	33
1.1	SELECCIÓN DE RECINTOS INDUSTRIALIZABLES	33
1.2	PRIORIZACIÓN DE RECINTOS – ELEMENTOS O COMPONENTES INDUSTRIALIZABLES	35
2	CAPÍTULO 2: PLANIFICACIÓN Y COORDINACIÓN	37
2.1	BASES DE LA PLANIFICACIÓN	37
2.2	PLANIFICACIÓN INICIAL	39
2.2.1	Consideraciones de la planificación inicial	39
2.2.2	Requerimientos de la planificación inicial	40
2.2.3	Recomendaciones para la planificación inicial	40
2.3	PLANIFICACIÓN EN LA FASE DE DISEÑO	41
2.4	PLANIFICACIÓN EN LA FASE DE FABRICACIÓN	41
2.4.1	Programación de la producción	41
2.5	PLANIFICACIÓN EN LA FASE DE MONTAJE	44
2.5.1	Planificación y control operacional del montaje	44
2.5.2	Indicadores de control	47
3	CAPÍTULO 3: FASE DE DISEÑO	49
3.1	DISEÑO ARQUITECTÓNICO	49
3.1.1	La grilla	50
3.1.2	Construcción modular volumétrica	51

3.1.3	Estandarización.....	51
3.1.4	Coordinación modular (PROYECTO DE NORMA – prNCh3509/1).....	53
3.1.5	Coordinación Temprana.....	54
3.1.6	Dimensionamiento en Planta.....	54
3.1.7	Dimensionamiento de la Sección.....	54
3.1.8	Consideraciones dimensionales en diseño.....	55
3.2	FACTORES ESTRUCTURALES A CONSIDERAR EN EL DISEÑO DE LOS MÓDULOS VOLUMÉTRICOS O COMPONENTES PANELIZADOS.....	55
3.3	DISEÑO DE ESPECIALIDADES.....	56
3.3.1	Resumen de Especialidades.....	56
3.4	BIM PARA DfMA.....	57
3.4.1	Beneficios de adoptar BIM para DfMA.....	57
4	CAPÍTULO 4: FASE DE FABRICACIÓN.....	60
4.1	BASES DE LA FABRICACIÓN INDUSTRIALIZADA.....	60
4.2	TIPOS DE FABRICACIÓN INDUSTRIALIZADA.....	61
4.3	CONDICIONES PARA LA PRODUCCIÓN INDUSTRIALIZADA DE UN ELEMENTO.....	63
4.4	REQUERIMIENTOS PARA LA FASE DE FABRICACIÓN.....	64
4.4.1	Orden de compra.....	64
4.4.2	Planificación de fases.....	64
4.4.3	Planos de obra.....	65
4.4.4	Especificaciones del producto.....	65
4.4.5	Especificaciones de calidad.....	66
4.5	ACTIVIDADES Y DECISIONES DEL PROCESO DE FABRICACIÓN.....	67
4.5.1	Diseño del proceso de fabricación.....	67
4.5.2	Ejecución y control de la producción.....	71
5	CAPÍTULO 5: FASE LOGÍSTICA.....	76
5.1	PLAN DE TRANSPORTE.....	76
5.1.1	Transporte en Camión.....	78
5.1.2	La Ruta.....	79
5.2	ÁREAS ADYACENTES.....	81
5.3	GESTIÓN DE TRÁNSITO PARA CARGAS MUY PESADAS.....	82
5.4	TIPO DE MAQUINARIA PARA IZAJE.....	82
5.5	CONSIDERACIONES PARA ALMACENAMIENTO.....	83
5.6	CONSIDERACIONES PARA MANIPULACIÓN.....	84
6	CAPÍTULO 6: FASE DE MONTAJE.....	86
6.1	BASES DEL MONTAJE DE ELEMENTOS INDUSTRIALIZADOS.....	86
6.1.1	Plan de montaje.....	88
6.1.2	Plan de provisión.....	88
6.1.3	Plan de logística en obra.....	88
6.2	CONSIDERACIONES PREVIAS A LA FASE DE MONTAJE.....	89
6.2.1	Condiciones de recepción de los elementos industrializados.....	89
6.2.2	Condiciones de recepción de las obras previas.....	90
6.2.3	Condiciones de las operaciones de montaje.....	92
6.2.4	Recomendaciones previas al inicio del montaje.....	94
6.2.5	Recomendaciones para el inicio de la fase de montaje.....	94
6.2.6	Recomendaciones durante la fase de montaje.....	94
6.3	SISTEMAS DE CONTROL RECOMENDADOS PARA LA FASE DE MONTAJE.....	95
7	CAPÍTULO 7: INSPECCIÓN TÉCNICA Y RECEPCIÓN EN OBRA.....	97
7.1	PLAN DE INSPECCIÓN.....	97

7.1.1	Generalidades para Recepción de Diseño.....	100
7.1.2	Generalidades para Recepción de Fabricación.....	100
7.1.3	Generalidades para Recepción en Obra.....	100
7.1.4	Generalidades para Recepción Definitiva.....	100
7.2	ASPECTOS CLAVES PARA INSPECCIÓN.....	101
8	CAPÍTULO 8: REGULACIONES.....	104
8.1	PARA CRITERIOS DE DISEÑO.....	104
8.2	PARA CRITERIOS DE ESPECIALIDADES.....	105
8.2.1	Electricidad.....	105
8.2.2	Obras Sanitarias.....	105
8.2.3	Instalaciones de Climatización.....	106
8.2.4	Normas y regulaciones de seguridad.....	107
PARTE 3: APLICACIÓN DE LA GUÍA		
1	CARACTERÍSTICAS DEL PROTOTIPO Y PROCESO DESDE DISEÑO A RECEPCIÓN DE MÓDULO DE BAÑO DE ACCESO UNIVERSAL.....	109
1.1	INTRODUCCION.....	109
1.2	ETAPA DE DISEÑO.....	110
1.2.1	Especificaciones de requerimientos funcionales, normativos/técnicos y criterios deseables.....	111
1.2.2	DfA modularización de las dimensiones y partes.....	118
1.3	ETAPA DE PLANIFICACIÓN INICIAL DE OBRA.....	129
1.4	ETAPA DE FABRICACIÓN.....	130
1.4.1	Fabricación de la estructura de soporte.....	130
1.4.2	Fabricación y montaje de las instalaciones incorporadas en el módulo.....	132
1.4.3	Fabricación y montaje de las placas de muro y revestimientos.....	133
1.4.4	Montaje e instalación de artefactos y terminaciones.....	133
1.4.5	Consideraciones generales para la fabricación.....	133
1.5	ETAPA DE LOGÍSTICA.....	134
1.5.1	Condiciones para la manipulación e izaje.....	134
1.5.2	Condiciones de transporte.....	136
1.6	ETAPA DE MONTAJE.....	137
1.6.1	Consideraciones para la planificación del montaje.....	137
1.6.2	Consideraciones para el montaje de los elementos.....	140
1.7	INSPECCIONES Y RECEPCIÓN DE MÓDULO DE BAÑO DE ACCESO UNIVERSAL.....	141
1.7.1	Inspecciones en planta.....	141
1.7.2	Inspecciones en obra.....	142
2	CARACTERÍSTICAS DEL PROTOTIPO Y PROCESO DESDE DISEÑO A RECEPCIÓN DE MÓDULO DE TABIQUE TÉCNICO CON LÍNEA DE VIDA.....	144
2.1	INTRODUCCIÓN.....	144
2.2	ETAPA DE DISEÑO.....	146
2.2.1	Aspectos funcionales, técnicos y características.....	147
2.3	ETAPA DE PLANIFICACIÓN INICIAL DE OBRA.....	158
2.4	ETAPA DE FABRICACIÓN.....	160
2.4.1	Secuencia productiva del tabique tipo.....	160
2.4.2	Consideraciones generales para la fabricación.....	161
2.5	ETAPA DE LOGÍSTICA.....	162
2.5.1	Condiciones para la manipulación e izaje.....	162
2.5.2	Condiciones de transporte.....	164
2.6	ETAPA DE MONTAJE.....	164
2.6.1	Consideraciones para la planificación del montaje.....	165
2.6.2	Consideraciones para el montaje de los elementos.....	168

2.7	INSPECCIONES Y RECEPCIÓN DEL TABIQUETÉCNICO CON LÍNEA DE VIDA	169
2.7.1	Inspecciones en planta	169
2.7.2	Inspecciones en obra	170
ANEXOS		
1	ANEXO A: METODOLOGÍA DE PRIORIZACIÓN	172
1.1	MÉTODO ANALÍTICO JERÁRQUICO	172
1.2	PASOS PARA IMPLEMENTACIÓN DEL AHP	172
1.2.1	Definiciones Iniciales	173
1.2.2	Definición de Atributos	175
1.2.3	Creación de Plantilla de Matriz	176
1.2.4	Llenado y clasificación de la matriz	177
1.2.5	Definición del peso relativo de los atributos.....	178
1.2.6	Creación de Guías Descriptivas	179
1.2.7	Definición y Validación de Subatributos.....	179
1.2.8	Clasificación de elementos	179
1.2.9	Validación Resultados	180
1.2.10	Definición de Alcance	180
1.3	DETALLES PARA LAS ACTIVIDADES RECOMENDADAS.	181
1.3.1	SD para Validación de Ponderadores (de 1.2.5.).....	181
1.3.2	SD para Elección de Elementos (de 1.2.7.)	182
1.3.3	SD para Validación de Atributos y Subatributos (de 1.2.6).....	186
2	ANEXO B: PMA DE EJEMPLO	187
2.1	PROGRAMA MÉDICO ARQUITECTÓNICO	187

PARTE 1 GENERALIDADES

1 PREFACIO

El Programa Estratégico de Productividad y Construcción Sustentable de CORFO, en adelante “Construye2025”, tiene como objetivo mejorar la productividad y la sustentabilidad de la construcción. En este contexto, surge una alianza de colaboración con AARQHOS, Asociación Gremial de Arquitectura y Especialidades Hospitalarias, y con el Departamento de Arquitectura de la División de Inversiones del Ministerio de Salud de Chile, para desarrollar el “CATÁLOGO Y GUÍA TÉCNICA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE COMPONENTES INDUSTRIALIZADOS EN PROYECTOS DE SALUD”, con el fin de mejorar la productividad y sustentabilidad en proyectos de salud.

El desarrollo de la guía estuvo a cargo del Centro Interdisciplinario para la Productividad y Construcción Sustentable (CIPYCS) y GEPRO SpA. Esta supone un avance en el camino de la industrialización de los proyectos de construcción en salud, así como un caso de estudio para determinar problemáticas, oportunidades y consideraciones para incorporar componentes de industrialización en proyectos, de acuerdo a las brechas previamente levantadas por las instituciones mencionadas y que se detallan a continuación (C2025, 2018)¹:

1.1 Desafíos en la construcción de proyectos de salud

- a) Dado que los terrenos disponibles para proyectos de salud tienen una amplia diversidad topográfica, climática y morfológica; se hace desafiante poder utilizar un solo prototipo que pueda adaptarse a todos los contextos.
- b) Esta misma diversidad del punto anterior, conlleva a que existan altas dispersiones en costos y plazos al momento de planificar un proyecto de salud.
- c) Los proyectos de salud cuentan con altas exigencias en seguridad, y es preciso que los sistemas de construcción industrializada cumplan con los requerimientos establecidos.
- d) Baja competitividad en costos, plazos y calidad de las ofertas de construcción industrializada para la demanda actual de los proyectos de salud.
- e) Existencia de una mala percepción de calidad respecto de los sistemas de construcción industrializada, ya que se les compara con la solución en base a contenedor utilizada para la construcción de hospitales modulares de emergencia luego del terremoto del 2010.
- f) La industria de la construcción no tiene el capital humano lo suficientemente capacitado para montaje y recepción de componentes y elementos industrializados.
- g) No existen ni capacidades, ni herramientas, ni conceptos lo suficientemente desarrollados como para tener una correcta coordinación entre las distintas etapas de los procesos industrializados.

¹ C2025 (2018). Bases Técnicas Consultoría Estudio Proy_02 “Catálogo y Guía Técnica para la implementación de componentes y elementos industrializados en proyectos de salud”.

- h) No existe posibilidad de reemplazo del cálculo estructural referencial al momento de la generar la solución industrializada. Menos aún con el respaldo de un profesional de proyectos y un revisor estructural.
- i) Para la implementación de sistemas de construcción industrializada, se requiere definiciones para el correcto agenciamiento en las diferentes etapas de los procesos industrializados, su montaje y puesta en servicio.
- j) En relación a las variables a considerar en la implementación de la construcción industrializada, es muy importante la incidencia del transporte en cuanto a costos y accesibilidad a zonas apartadas de los centros urbanos.

1.2 Quiénes participaron en el desarrollo de esta guía

El proyecto fue encomendado por Construye2025, a cargo de su coordinadora técnica, Alejandra Tapia y contó con la orientación técnica de los socios de AARQHOS, Jaime Sáez, de la empresa Swarq, Gonzalo Aparicio, de la empresa Aparicio Arquitectos Asociados y Rubén Zenteno, de la empresa de inspección técnica DRS.

La ejecución del proyecto y redacción de la Guía fueron llevadas a cabo por un equipo conjunto de GEPRO y CIPYCS, compuesto por Gabriela Matta (GEPRO), jefa del proyecto, Camilo Lagos (CIPYCS) coordinador del proyecto, Pablo Faúndez (CIPYCS), ingeniero del proyecto y Osvaldo Luco (GEPRO), consultor BIM. Además, participaron como asesores expertos del proyecto Luis Fernando Alarcón, Profesor titular Ingeniería UC, Claudia Valderrama, Profesora Asistente Construcción Civil UC, Marcos Carmona, arquitecto hospitalario, junto a Alejandro Escándar y Juan Pablo Cancino, pertenecientes a Constructora LyD. Finalmente, como representantes de los *stakeholders* de proyectos de salud, se contó con la participación de fabricantes y proveedores como CINTAC, MK, AEC Systems y ESHOME.

2 INTRODUCCIÓN

El presente documento corresponde al Catálogo y Guía Técnica para la Implementación de Componentes y Elementos Industrializados en Proyectos de Salud, el cual se inserta en el “Plan Industrialización y Construcción Limpia” de Construye 2025. El proyecto que da origen a este documento tuvo por objetivo fomentar la incorporación de elementos industrializados, con foco en nuevos proyectos de construcción hospitalaria y remodelaciones, con el fin de mejorar la productividad y sustentabilidad de estos proyectos.

Este documento comienza con una guía a la incorporación de consideraciones de industrialización en salud, desde la selección de componentes a industrializar, hasta el desarrollo de las fases de diseño, fabricación, construcción y recepción. La guía también incorpora la aplicación a dos elementos industrializados, seleccionados sobre un conjunto de elementos priorizados previamente en una encuesta realizada a profesionales de AARQHOS (baño modular de acceso universal, sala de cirugía, módulo de tabique técnico con línea de vida, módulo de fachada con ventana, laboratorio modular y sala de hospitalización modular).

Los dos elementos se seleccionaron utilizando un método de jerarquización con decisiones multicriterio. En dicho proceso se contó con representantes de los diferentes *stakeholders* de proyectos de salud, los cuales evaluaron los siguientes atributos para cada elemento:

- Impacto en el costo de mantenimiento
- Mejora potencial de la partida
- Complejidad técnica de la solución
- Relevancia de la solución en el proyecto
- Nivel de estandarización en la partida
- Flexibilidad alcanzable en la solución
- Capacidad de la industria para proveer solución
- Replicabilidad del método o solución en industria
- Escalabilidad potencial de solución en mercado
- Plazo de provisión y fabricación.

El resultado de la priorización jerárquica realizada fue:

1°: Baño modular de acceso universal

2°: Módulo de tabique técnico con línea de vida

3°: Módulo de fachada con ventana

4°: Sala de hospitalización

5°: Sala de cirugía

6°: Laboratorio modular

Posterior a la definición de alcance de ambas soluciones, se realizó un proceso de recopilación de antecedentes para requerimientos técnicos, funcionales y normativos que fuesen aplicables a las soluciones. Con esta información disponible se caracterizó, diseñó, modularizó y estandarizó cada solución.

La guía técnica considera toda la información necesaria para la incorporación de las soluciones en proyectos, promover la fabricación y comercialización de los elementos, facilitar la construcción, recepción y operación de elementos industrializados, así como ejemplificar los beneficios productivos del uso de soluciones de carácter industrializado en sistemas abiertos.

2.1 Resumen Ejecutivo

El documento se divide en 3 partes. La primera parte, contiene una contextualización del problema y las definiciones clave para abordarlo, considerando un enfoque de diseño para la manufactura y ensablaje (DfMA) y Lean, además de la forma en que se debe abordar la solución. La segunda parte, consiste en una guía técnica con consideraciones generales que se deben tener al momento de coordinar la industrialización de alguna partida de un proyecto de construcción en salud. Está dividida en 7 capítulos que coinciden con cada una de las etapas del proceso desde la selección y diseño, hasta el montaje y recepción. La tercera parte, es una aplicación de la guía técnica a dos elementos, un baño con accesibilidad universal y un tabique técnico. Los capítulos de la guía (parte 2 y 3), son los siguientes:

Capítulo 1: En este capítulo se aborda el resumen de la metodología de priorización y elección de elementos. Se presenta también la lista completa de atributos y subatributos que deben considerarse para realizar la priorización y elección de las partidas de desarrollo potencial en industrialización.

Capítulo 2: En este capítulo se aborda la coordinación entre partidas y especialidades, además de las nociones de planificación que deben tomar quienes participan de un proyecto industrializado en salud.

Capítulo 3: En este capítulo se aborda la etapa de diseño. El relato aborda los conceptos de modulación y estandarización, además de indicar las consideraciones técnicas y normativas que se deben tomar en la etapa de diseño en sus tres dimensiones principales: arquitectónica, estructural y especialidades.

Capítulo 4: En este capítulo se recogen todos los requerimientos técnicos, reglamentarios y normativos para diseñar el proceso de fabricación. Además de los sistemas de control y aspectos de coordinación.

Capítulo 5: En este capítulo se abordan los requerimientos técnicos, normativos y reglamentarios que se deben tener en cuenta al momento de planificar la logística, lo cual incluye el transporte, carga, descarga y manipulación de los componentes y elementos industrializados según la localización de proyecto, el tránsito, restricciones por seguridad y por las características de la maquinaria existente.

Capítulo 6: En este capítulo se aborda la definición y desarrollo de la secuencia de montaje y los requerimientos técnicos, normativos y reglamentarios necesarios para su exitoso funcionamiento.

Capítulo 7: En este capítulo se abordan los criterios mínimos de aceptación y control para la Inspección Técnica en Obra.

Capítulo 8: En este capítulo se listan todas las referencias normativas vigentes ordenadas por entidad que las regulan. Además, se mencionan guías de buenas prácticas basadas en casos de éxito en países extranjeros.

3 DEFINICIONES INICIALES

A continuación, se presenta un listado de definiciones de los términos clave más utilizados para que el lector se familiarice con los conceptos aquí referidos.

3.1 Glosario

El concepto de industrialización corresponde al desarrollo en fábrica de la mayoría de los componentes y elementos que conforman un módulo o estructura, de forma estandarizada y modularizada, bajo una secuencia de fabricación, traslado y montaje, tal cual una producción general en serie (Muñoz, 2017)². La industrialización tiene un enfoque sistémico, ya que para lograr que el impacto de este tipo de soluciones sea útil para todas las partes interesadas, requiere que su diseño considere los requerimientos de instalación y compatibilización con la estructura tradicional, de tal manera que reduzca el trabajo realizado en obra y las problemáticas de coordinación de especialidades (Gómez, 2008)³.

La construcción industrializada, desde el punto de vista de los sistemas constructivos, puede entenderse de dos maneras, como sistemas cerrados o abiertos (IDIEM 2017).

- **Sistemas Cerrados:** Corresponden a sistemas de construcción prefabricada en los cuales los componentes y elementos se fabrican conforme a especificaciones internas del propio fabricante o sistema. Estos sistemas responden únicamente a reglas de compatibilidad internas.
- **Sistemas Abiertos:** Son sistemas que se componen por componentes y elementos de distinta procedencia, los cuales son fabricados en base a reglas de estandarización para lograr ser compatibles en diversos proyectos.

A continuación, se definen los conceptos clave utilizados a lo largo del documento para abordar la industrialización en construcción desde las variables de arquitectura, fabricación y montaje.

- **Modularización:** consiste en la creación de subsistemas modulares que se pueden diseñar independiente del producto industrializado final, el cual es la suma de estas partes. Aunque también estos módulos pueden tener la característica de ser escalables a productos diversos (Baldwin & Clark, 2007).
- **Coordinación Modular:** Según la norma NCh3509, la coordinación modular es la coordinación dimensional utilizando el módulo básico, multi-módulos, sub-módulos y un sistema de referencia modular (Instituto Nacional de Normalización, 2018).
- **Prefabricación:** Proceso de manufactura que se realiza en una planta de fabricación, o bien dentro de la obra. En el contexto de la guía técnica, la prefabricación se refiere al proceso

² Muñoz, Félix; (2017). Construcción industrializada y prefabricación en la vivienda transicional y de emergencia en el ámbito de los países desarrollados. El caso español. Escuela Técnica Superior de Ingeniería y Diseño Industrial. Universidad Politécnica de Madrid.

³ Gómez (2008). Estudio comparativo entre distintas metodologías de industrialización de la construcción de viviendas. Departamento Ingeniería de la Construcción. Universidad Politécnica de Catalunya

en que se construyen los elementos industrializados o componentes fuera de la obra, o sea en una planta de fabricación (Abosaad, Underwood, Isikdag, & Barony, 2010).⁴

- Fabricación off-site: es el proceso de fabricación y premontaje de componentes, partes o módulos de construcción en una planta de fabricación previo al traslado y montaje de este en obra (Abosaad et al., 2009).
- Estandarización: Consta del proceso de normalización de los componentes de un mismo elemento industrializado o de un sistema constructivo de recintos. El objetivo de este proceso es el aumento de la productividad, debido a la alta especialización que se adquiere en la fabricación, construcción y montaje de estos, ya que se eliminan ambigüedades, problemas de adaptabilidad y la complejidad que trae consigo la diversidad de soluciones (O'Connor, et al., 2014)⁵.
- Flexibilidad: Capacidad de los recintos y del ambiente de los elementos industrializados de poder adaptarse a tener un uso totalmente distinto. Esto permite que, sea cual sea la razón (estética, funcional, medioambiental, etc.) la disposición de elementos en el espacio pueda ser continuamente modificable (Andrade, 2015)⁶.
- IBS (*Industrialized Building Systems*): En español son los sistemas de construcción industrializado. Puede ser definido como un sistema en el cual todos los componentes de una construcción, tales como muros, losas, vigas, columnas y escalas son producidos en masa en fábrica o en obra bajo estrictos controles de calidad y un mínimo de actividades en obra (Thanoon et al., 2003)⁷.
- Cadena de valor: Modelo estratégico que permite graficar y describir el desarrollo de las actividades de una organización generando valor al producto o servicio final que esta brinda (Porter, 1985)⁸.
- DfMA: *Design for Manufacturing and Assembly*, que en español significa Diseño para la manufactura y ensamblaje.
- DfM: *Design for Manufacturing*, que en español significa Diseño para la manufactura.
- DfA: *Design for Assembly*, que en español significa Diseño para el montaje.
- Constructabilidad: Su definición básica corresponde a “la manera en la cual el diseño de un edificio facilita su construcción, sujeto a todos los requisitos generales del edificio

⁴ Abosaad, H., Underwood, J., Isikdag, U., & Barony, S. (2010). A classification system for representation of off-site manufacturing concepts through virtual prototyping. 9th International Detail Design in Architecture Conference, (May), 267–278.

⁵ O'Connor, J. T., O'Brien, W. J., & Choi, J. O. (2014). Critical success factors and Enablers for optimum and maximum industrial modularization. *Journal of Construction Engineering and Management*.

⁶ Andrade, Mónica (2015) Sistema constructivo modular con materiales alternativos que favorezca a la flexibilidad en la construcción de vivienda. Facultad de Arquitectura y Diseño, UAEM.

⁷ W.A. Thanoon, Lee Wah Peng, Mohd Razali Abdul Kadir, Mohd Saleh Jaafar & Mohd Sapuan Salit (2003) The Essential Characteristics of Industrialised Building System.

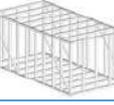
⁸ Porter, M. E. (1985). *The Competitive Advantage: Creating and Sustaining Superior Performance*. NY: Free Press.

terminado”⁹, no obstante, su entendimiento ampliado requiere de la siguiente definición: “integración óptima del conocimiento y experiencia en construcción en la planificación, diseño, logística y operaciones de obra para alcanzar todos los objetivos del proyecto”¹⁰.

3.2 Sistemas industrializados existentes

En la literatura existen distintas formas de clasificar los sistemas de construcción industrializada, dependiendo el enfoque o atributo que se prioriza para clasificar. Considerando que el enfoque de la guía está orientado hacia un método general de fabricación y que no se hace diferencias entre materialidades, se utiliza la clasificación propuesta por Abosaad (2009)¹¹, que propone, una clasificación para los elementos y componentes industrializados fuera de obra por forma y disposición en: Volumétrico (3D), panelizado (2D), híbrido (2D+3D), y subsistemas para ensamblaje (2D o 3D). La Tabla 1 presenta las características de cada tipo de elemento.

Tabla 1. Catalogación de sistemas industrializados.

Ilustración	Tipo	Descripción
	Panelizado (2D)	Llevado a obra como elemento estructural con instalaciones, aislamiento y revestimiento listo. Este sistema 2D se construye en base a paneles montados en fábrica.
	Volumétrico (3D)	Este sistema puede ser casi terminado en fábrica, lo que minimiza el trabajo en obra.
	Sistema Híbrido (2D+3D)	Es la combinación entre sistemas volumétricos y panelizados. Por lo general, se trata de un sistema volumétrico al cual se le agregan posteriormente uno o más sistemas panelizados.
	Subsistemas para ensamblaje (2D o 3D)	Es el elemento más grande que no represente ser de la estructura primaria de la edificación, pero que puede ser fabricado.

3.3 Integración temprana y concurrente de los actores del proceso

A diferencia de la construcción tradicional, los proyectos industrializados requieren de la integración temprana, de mandante, diseño, contratista y proveedor. La integración temprana del contratista permite obtener un foco en constructabilidad, mientras que el fabricante debe tener un alto conocimiento de los requerimientos del proyecto y esclarecer las características de su sistema y capacidad de producción para asegurar la compatibilidad. Por ello es relevante, que ambos actores sean conocidos y participen de la etapa del diseño, buscando maximizar la propuesta de valor al mandante.

⁹ CII (Construction Industry Institute) (1987). “Constructability Concepts File” CII University of Texas. Austin Publication 3-3

¹⁰ CII (Construction Industry Institute) (1987). “Constructability Concepts File” CII, University of Texas. Austin Publication 3-3.

¹¹ Abosaad, H, Underwood, J and Boveny, S. (2009) Towards an information system representation of OSM in facilitating the virtual prototyping of housing design. BuHu 9th International Postgraduate Research Conference (IPGRC): Salford, United Kingdom.

La integración desde el diseño busca garantizar una mejor coordinación del proyecto y percibir los beneficios de la integración temprana de todos los actores. Los resultados de esta inclusión son beneficiosos para maximizar la efectividad y eficiencia técnica en las etapas del proceso. Además, dentro de los beneficios secundarios de utilizar este modelo (en comparación con el tradicional) están una mayor comunicación entre las etapas, una mejor coordinación y el favorecimiento de la transferencia de conocimiento y experiencia entre los *stakeholders* (Roshana, et al., 2013)¹².

Existen diversos enfoques de producción para el aprovisionamiento de diseño y construcción, los que, en general, buscan favorecer el cumplimiento de las expectativas de las partes interesadas en conjunto. El objetivo de estos modelos es mejorar la productividad de las obras, teniendo mayor certeza en plazos y costos, optimizar materiales y recursos, y mejorar el trabajo de contratistas mediante la integración temprana de distintas disciplinas en el diseño. Esta guía no se cierra a ningún modelo integrado en particular, pero incluye las consideraciones de colaboración requeridas en cada etapa, desde la selección y diseño hasta el montaje y recepción.

Además, en este capítulo se detallan y explican cada una de las etapas desde el enfoque de la cadena de valor. Asimismo, se explica la metodología de elección de los atributos para la creación de valor, las definiciones más importantes a considerar para los procesos industrializados y el enfoque de mejoramiento de los procesos y maximización del valor mediante las mejoras en calidad, plazos y costos.

¹² Roshana Takim, Mohd Reza Esa, Siti Hamidah Abdul Hamid (2013) Delivering Best Value for Design and Build (D&B) Projects through Integrated Process Improvements Solution.

1 PROCESO

Para entender la guía desde el punto de vista de procesos es necesario comprender cada una de las etapas de la producción y montaje, y cómo ellas aportan a la consecución del producto final. En cada etapa existe una transformación del elemento o componente, sumando nuevas materias primas y recursos, así como aumentando su grado de terminación. Así, se agrega valor al producto final en cada etapa, por medio de la industrialización.

3.4 Etapas del proceso

En las bases del concurso para la creación del Catálogo y Guía Técnica para la Implementación de Componentes y Elementos Industrializados en Proyectos de Salud, se detallan las siguientes etapas del proceso y sus respectivos entregables (Figura 1).



Figura 1. Etapas proceso de desarrollo proyectos industrializados

A continuación (Tabla 2), se presenta la descripción de cada etapa y la vinculación preliminar de los actores o *stakeholders* participantes en cada uno (en negrita se presentan los actores principales y en cursiva los secundarios de cada etapa).

Tabla 2. Descripción de las etapas, entregables y actores participantes (Fuente: Elaboración Propia)

F1 - Selección de Componentes	
Descripción Etapa	Esta etapa considera seleccionar y priorizar los recintos o partidas más factibles de industrializar (según criterios de modularidad, grado de especialización y atributos).
Entregables	Recintos hospitalarios seleccionados para industrializar y alcance inicial.
Actores Participantes	Mandante. Mesa de Expertos.
F2 - Fase de Planificación de la Construcción	
Descripción Etapa	Esta etapa considera presupuestar y programar las actividades, teniendo en consideración las condiciones para la adquisición de los elementos o componentes, coordinación de secuencias del proceso y actividades previas, coordinación de especialidades y las actividades de coordinación de montaje y recepción final.
Entregables	Planificación (costos y plazos) y programa de recursos. Coordinación entre actores.
Actores Participantes	Constructor. <i>Proveedor</i> . Coordinador de proyecto

F3 - Fase de Diseño	
Descripción Etapa	Dado el alcance inicial definido en la etapa anterior, en esta etapa el eje central es el diseño de la modulación de los componentes que se fabricarán off-site y su estandarización. Este diseño se hace en base a los requerimientos técnicos, normativos y reglamentarios. Esta etapa tiene enfoque DfMA, ya que el diseñador no solo considera el componente o elemento en particular, sino que además considera la estructura completa y el diseño del proceso de ensamblaje o montaje. Esta etapa finaliza con la fabricación de un prototipo para comprobar las hipótesis de producción, montaje y de producto.
Entregables	Modelo BIM del prototipo. Prototipo fabricado.
Actores Participantes	Diseñador, Constructor, Mandante, Operador.
F4 - Etapa de Fabricación	
Descripción Etapa	En esta etapa se consideran las actividades secuenciales y paralelas que son necesarias para la conversión de toda la materia prima en el producto final según prototipo. Como esta etapa de fabricación se realiza off-site en una planta, la lógica de producción es más parecida a la manufactura tradicional (fábrica y producto transportable).
Entregables	Elemento o componente industrializado listo para ser transportado.
Actores Participantes	Proveedor. Constructor. ITO.
F5 - Etapa de Logística	
Descripción Etapa	En esta etapa, los elementos industrializados son protegidos, cargados, transportados, manipulados y recepcionados directo en Obra. En esta etapa conviven diversas actividades de coordinación entre cada uno de los participantes.
Entregables	Elemento recepcionado en obra listo para ser montado o ensamblado con otros.
Actores Participantes	Proveedor, constructor, transportista, ITO
F6 - Etapa de Montaje	
Descripción Etapa	En esta etapa, los elementos recibidos exitosamente, son montados o ensamblados en Obra (on-site). Esta etapa contiene una serie de actividades secuenciales y paralelas que requieren de coordinación. En esta etapa se debe tener en cuenta que todas las faenas de preparación, previas al montaje deben estar ejecutas.
Entregables	Elemento montado, fijado y terminado (en caso de que sea necesario).
Actores Participantes	Proveedor, constructor, Oficina técnica, ITO
F7 - Etapa de Inspección Técnica de Obras de Montaje y Recepción	
Descripción Etapa	Es la etapa cuyas actividades están enfocadas en el control de calidad, a través de criterios de aceptación (definidos por diseño) y selección plasmados en un <i>checklist</i> . Desde la recepción de los componentes hasta la recepción definitiva (pasando por montaje y últimas terminaciones).
Entregables	Plan de inspección en fabricación (definiendo medios y puntos de chequeo y documentación), Listas de chequeo para Inspección Técnica de Obras. Recepción definitiva de los componentes y elementos industrializados en obra.
Actores Participantes	Proveedor, Constructor, Diseñador, ITO. Oficina técnica.

3.5 Creación de valor

Seleccionar los elementos de un recinto hospitalario que puedan industrializarse y definir el tipo de industrialización más beneficioso para el proyecto es una actividad altamente compleja, que involucra a todos los interesados y que debe favorecer a todos. Para facilitar esta decisión, se propone realizar una evaluación de los distintos elementos posibles de industrializar en base a atributos que deben reflejar los intereses de todos los involucrados. En esta sección, se explica cómo obtener estos atributos y una definición de los utilizados en esta guía.

El valor agregado de la industrialización de un elemento varía para cada *stakeholder* y en cada etapa del proyecto. Por ello, es importante analizar cuáles son los actores relevantes del proceso, en qué etapa participan y cuáles son sus intereses más relevantes. En el caso de proyectos de salud, se identificaron 7 stakeholders, con sus respectivos intereses clave (¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.).

Tabla 3. stakeholders de salud y sus intereses más relevantes (Fuente: Elaboración Propia)

Actores del proyecto e intereses (<i>stakeholders</i>)	
STAKEHOLDER	INTERESES MÁS RELEVANTES
S1 – Mandante	Costo, Plazo, Calidad
S2 – Diseñador	Flexibilidad, Compatibilidad, Estética
S3 – Proveedor	Capacidad, Valor, Mercado
S4 – Constructor	Costo, Complejidad Técnica, Beneficio
S5 – Operador	Calidad, Mantenimiento, Cambio
S6 – Usuario Final	Morfología, Prestaciones
S7 – País-Industria	Caso de Éxito, Potencial, Replicabilidad

Los actores del proceso influyen de manera distinta en cada etapa del proceso productivo. En proyectos tradicionales las etapas son diseño, construcción y recepción, no obstante, al considerar el caso de proyectos industrializados, se encuentran las siguientes etapas:

- F1 - Selección de Componentes a Industrializar
- F2 - Planificación del Proyecto
- F3 - Diseño e Ingeniería
- F4 - Fabricación
- F5 - Logística
- F6 - Montaje
- F7 - Inspección Técnica de Montaje y Recepción

Tabla 4. Descripción de atributos seleccionados (Fuente: Elaboración Propia)

ATRIBUTO	DESCRIPCIÓN DEL ATRIBUTO
A01 Impacto en costo de Mantenimiento	Considera la facilidad de acceso a la solución y sus instalaciones para efectuar la mantención, la capacidad de efectuar reparaciones in situ, la capacidad de obtener repuestos industrializados, la capacidad de reutilización de la solución o sus elementos y la facilidad de poder efectuar modificaciones en la distribución de los espacios, como por ejemplo remodelaciones.
A02 Mejora potencial en la partida	Potencial relativo de mejora de un elemento o componente industrializado con respecto a la solución tradicional a través de mejoras en productividad. Considerando costos, tiempo de montaje, recepción, transporte, , calidad, pérdidas y seguridad en obra.
A03 Complejidad técnica de la solución	Complejidad del diseño y en la coordinación de especialidades que requiere el elemento o componente industrializado.
A04 Relevancia de la solución en el proyecto	Peso específico del elemento en comparación con la totalidad de la obra. Este peso específico se evalúa en cuanto a costos, dimensión y número de repeticiones de la partida en el proyecto completo.
A05 Nivel de estandarización en la partida	Capacidad de industrializar y estandarizar el elemento. Considera la facilidad o complejidad de prefabricar de forma estándar el elemento o los componentes de este fuera de obra, trasladarlo sin riesgo de deterioro y montarlo en la menor cantidad de pasos posibles.
A06 Flexibilidad alcanzable en la solución	Considera qué tan factible y sencillo es incorporar el elemento al diseño en etapa temprana de un proyecto de salud, considerando la compatibilidad con distintas materialidades, estructuras y morfologías, así como la facilidad de montaje y conexión entre las partes, la adaptabilidad de la configuración y dimensiones del elemento para su transporte.
A07 Capacidad de la industria para proveer solución	Capacidad que tiene la industria de los proveedores para producir el elemento. Considera la capacidad de escalas de producción, proveedores disponibles, capacidad tecnológica, logística y capacidades técnicas de la mano de obra.
A08 Replicabilidad del método o solución en industria	Capacidad de replicar el elemento en otros proyectos distintos a hospitales, proyectos privados de salud, proyectos distintos al área de salud o replicar las características de la solución en nuevos módulos o elementos.
A09 Escalabilidad potencial de solución en mercado	Potencial de crecimiento de la solución industrializada que entrega su aplicación en la partida en particular. El crecimiento se refiere a un proceso de mejora continua y al aumento del nivel de industrialización de la partida a nivel nacional y extendido en proyectos de salud.
A10 Plazo de provisión y fabricación	Considera el tiempo desde la orden de compra hasta la instalación, incluyendo el tiempo de customización después de la orden de compra, tiempo de traslado, tiempo de montaje y tiempo de revisión y entrega.

Esta lista sirve como una base de consideraciones a evaluar para seleccionar elementos industrializables, no obstante, puede que un estudio detallado de las fases con los stakeholders permita identificar y complementar nuevos atributos de valor para su consideración. Los elementos seleccionados en esta guía fueron evaluados y priorizados en base a la lista de 10 atributos descrita en la Tabla 4.

4 ENFOQUE DE MANUFACTURA

La producción industrializada de sistemas constructivos requiere del traslado de la producción en sitio, de carácter artesanal y directamente dependiente de la mano de obra, a producción en planta, efectuada por medio de sistemas organizados en estaciones de trabajo dentro de una línea de producción y dependiente de capacidades y tasas de operación de dichas estaciones, considerando desde el apoyo de maquinaria hasta sistemas robotizados. Por ende, se requiere estudiar las bases de diseño para la incorporación de diseño para la manufactura y ensamblaje, que permita diseñar tanto el producto como su proceso productivo y las operaciones requeridas para su entrega; y aplicar herramientas de mejoramiento de procesos que permitan producirlo reduciendo las pérdidas, a bajo costo y con un alto nivel de calidad, de acuerdo a las tasas de demanda del cliente y con el mínimo inventario posible.

Esta sección contiene recomendaciones para diseñar, programar, analizar y mejorar la producción por medio de un enfoque de procesos orientado a la manufactura industrializada. Se efectúan recomendaciones considerando que los elementos industrializados a desarrollar tienen como características comunes: Una customización dependiente del tipo del proyecto para el cual son desarrollados, una tasa de demanda variable de acuerdo a órdenes de clientes, que requiere de una producción del tipo *pull* (*Made to Order* - MTO o *Assembled to Order* - ATO) y que sus dimensiones y composición hacen necesario un diseño modular por componentes montables.

4.1 Recomendaciones para el Diseño basado en la Manufactura y Montaje – DfMA

Design for Manufacturing and Assembly (DfMA) es una familia de métodos de diseño concurrente cuyo foco está en facilitar el proceso productivo y de montaje de los productos, por ende, disminuir costos para el proveedor y cliente. Se basa en la idea de que un producto modularizado en pocas partes, de simple montaje, será más conveniente de producir, más rápido y simple de montar, aumentando su valor agregado. Sus principios fundamentales son: disminuir el número de partes y componentes, simplificar las uniones y minimizar el número de operaciones requeridas.

4.1.1 Bases de diseño basado en la manufactura y montaje

Diseñar utilizando DfMA implica la unión de 3 herramientas o sistemas que permiten llegar a soluciones óptimas: modelación 3D, producción de elementos y componentes off-site y un modelo con información que permite hacer análisis de tiempos y costos, además de calidad, desempeño, seguridad, mantención, etc. Esto se refleja en la Figura 2:

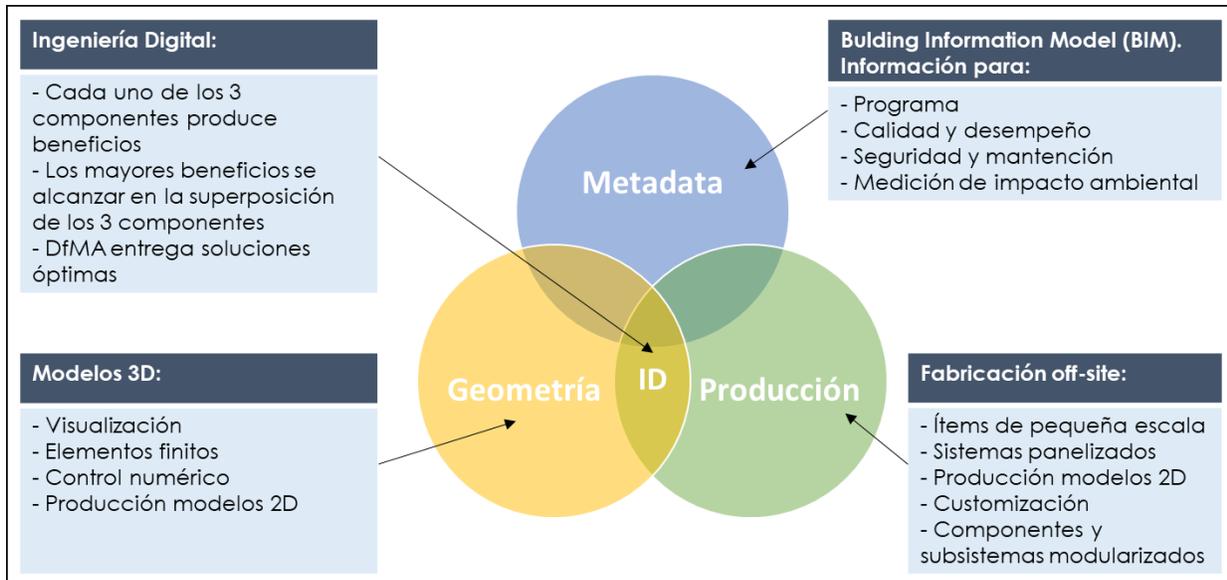


Figura 2. Marco de la metodología DfMA¹³

DfMA es la combinación de Diseño para la Manufactura (DfM) y Diseño para el Montaje (DfA). Ésta se logra mediante el desarrollo de 4 acciones en un ambiente de ingeniería concurrente: En primer lugar, se especifica el producto en términos de sus funcionalidades y características que son catalogadas en requisitos y deseables. Posteriormente, se realiza la etapa de DfA, consistente en la modulación del producto en componentes y luego en el diseño de las uniones de componentes. En tercer lugar, se realiza el DfM, consistente en el diseño de las operaciones de montaje y producción y, finalmente, se prototipan soluciones para comprobar hipótesis de producción, montaje y producto. Es así en que cada etapa puede influir en la etapa directamente anterior, simplificando el diseño del producto. La Figura 3. Esquema de las etapas del DfMA presenta esquemáticamente las etapas de DfMA.

¹³ Handbook for the Design of Modular Structures (2017), Monash University.

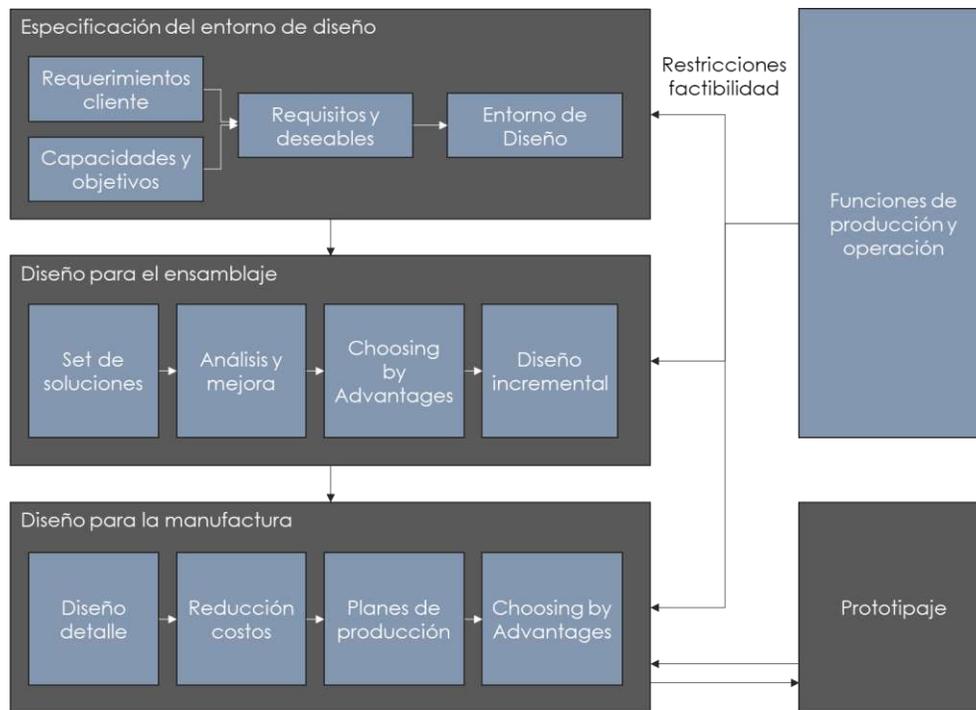


Figura 3. Esquema de las etapas del DfMA (Fuente; Elaboración propia en base a Boothroyd et al., 2002¹⁴)

4.1.2 Objetivos de DfMA

El objetivo general de DfMA es simplificar al máximo las operaciones requeridas para entregar un producto al cliente final, cumpliendo con la totalidad de sus requerimientos, de acuerdo a las tolerancias especificadas. Para ello, se simplifican tanto la composición del producto, como las etapas de producción y montaje, de acuerdo a los siguientes objetivos:

- i. Asegurar el cumplimiento de las funcionalidades y calidad del producto
- ii. Simplificar el diseño, por medio de la reducción de piezas y estandarización de componentes
- iii. Mejorar la fabricación, disminuyendo las operaciones
- iv. Facilitar el montaje, por medio de mecanismos de unión simple y la reducción de operaciones
- v. Minimizar costos de producción y montaje
- vi. Garantizar un uso eficiente de recursos y materiales (dimensionamiento)

Los seis objetivos siguen la siguiente lógica: entregar un producto acorde a los requerimientos del cliente al menor valor posible, beneficia tanto al productor como al cliente; un producto compuesto de menos partes, requerirá de menos uniones y operaciones; la cantidad de uniones y sistemas utilizados para ello afecta directamente la operación; la operación representa parte importante del

¹⁴ Boothroyd, G., Dewhurst, P., & Knight, W. (2002). Product design for manufacturing and assembly. (I. Marcel Dekker, Ed.) (Second.). New York.

costo del producto final, por lo que requiere ser optimizada; y, finalmente, la modulación, estandarización y minimización de los componentes del producto permite minimizar tanto el uso de materiales como de recursos productivos.

4.1.3 Principios de DfMA

En esta sección se presentan los principios que estructuran el proceso de Diseño para la Manufactura y Ensamblaje. Estos son: Especificar el producto, modularizarlo, estandarizarlo, minimizar componentes, uniones y operaciones. La especificación define el entorno de diseño. La modularización permite conceptualizar el producto como la conjunción de elementos replicables que comparten características de uno o múltiples módulos base. La estandarización permite reducir los tipos de módulos, facilitar la replicabilidad y la optimización de materiales. La minimización de partes y componentes simplifica tanto la producción como montaje, al igual que lo hace la simplificación de las uniones. Por último, la simplificación de las operaciones y su minimización reducen los costos y plazos de producción y montaje.

1. Especificación de funcionalidades, requisitos, tolerancias y atributos deseables

Se deben especificar los requerimientos del producto, tanto desde la perspectiva del cliente como del productor. Éstos son catalogados en “requisitos” y “deseables”, los cuales pueden ser de “producción” o “producto”. Así mismo, se catalogan los requisitos en “funcionalidades” y “características”. Para cada uno, se definen tolerancias, que son las condiciones de borde para su cumplimiento. El objetivo de la definición es delimitar el espectro de soluciones posibles para cumplir con los requerimientos del cliente y capacidades de producción.

2. Modularización del producto

Este principio consiste en dividir el elemento en módulos, idealmente similares, que puedan ser producidos por separado y luego montados para conformar la solución. Para ello, se divide el elemento en secciones geométrica y volumétricamente similares, idealmente múltiplos de un módulo base. Luego, el elemento será la composición de múltiples repeticiones de los módulos base.

3. Estandarización de partes y componentes

Consiste en minimizar la cantidad de tipologías de módulos existentes y tipos de partes, para lo cual, se busca estandarizar sus componentes. Permite que el elemento final se componga de series de módulos base similares entre sí.

4. Minimización del número de componentes

Para esto, primero se deben itemizar los componentes de la solución, identificando los módulos y partes estándar. Luego, debe analizarse el total de módulos de la solución y total de componentes de cada módulo, buscando mecanismos para reducir el total. Una vez minimizado el total de componentes, deberá buscarse simplificar su distribución.

5. Minimización y simplificación de las uniones

Para simplificar las uniones, el primer paso es buscar soluciones que sean aplicables al máximo posible de conexiones existentes, de tal forma de minimizar las formas de anclaje. Algunos de los sistemas más usados son sistemas de machihembrado o anclajes mecánicos simples. Al diseñar

soluciones estándar de anclaje, también se busca simplificar los sistemas de montaje. Por ejemplo, los sistemas machihembrados y los anclajes mecánicos reducen la cantidad de operaciones y evitan el uso de otros sistemas de fijación como pernos, soldadura o faenas húmedas.

6. Minimización y simplificación de operaciones de producción

Consiste en analizar las operaciones requeridas para fabricar un elemento. Para ello, se desarrollan diagramas de flujo de las partes o componentes a una operación. Así es posible identificar partes que pueden eliminarse, combinarse o redimensionarse para reducir el número o tiempo total de operaciones requeridas. Este proceso afecta directamente las etapas anteriores, ya que las soluciones de producción pueden requerir que se estandarice aspectos de los módulos o que se combinen partes para simplificar su producción.

7. Minimización y simplificación de operaciones de montaje

Al igual que en el caso anterior, es necesario que los operadores participen tempranamente del proceso, analizando si las soluciones desarrolladas simplifican el montaje y disminuyen la cantidad de operaciones necesarias. Para ello, es útil que participen del desarrollo de diagramas de flujo del montaje y que participen activamente del desarrollo de los mecanismos de unión.

4.1.4 Etapas de DfMA

A continuación, se abordan los procesos de: conceptualización, diseño para el ensamblaje, diseño para la manufactura y prototipaje. Estas se vinculan de acuerdo al diagrama presentado en la Figura 3.

Etapa I: Especificación y diseño de concepto

La primera etapa consiste en definir el entorno de diseño y los objetivos que debe satisfacer el producto. El diseño para la manufactura y montaje (DfMA) se basa en la simplificación del método de obtención de un producto que satisfaga un conjunto de funcionalidades y requisitos, dentro de tolerancias aceptables, de la manera más simple posible. Por ende, las funcionalidades, requisitos y tolerancias representan el espectro de soluciones posibles, mientras que el costo, en tiempo, operaciones y recursos, representa la función para obtener el producto.

Las especificaciones del producto se catalogarán en “funcionalidades”, que corresponden a los requerimientos de funcionamiento del producto y “características”, que corresponden a aspectos propios del diseño, cada una de las cuales se obtiene de las “condiciones de producto”, que corresponden a los requerimientos del cliente, y “condiciones de producción”, correspondientes a las capacidades de manufactura del proveedor y/o cliente. Las especificaciones son catalogadas en “requisitos”, de carácter obligatorio, y “deseables”, que representan el marco del diseño. La Figura 4 representa la definición de las especificaciones del producto.

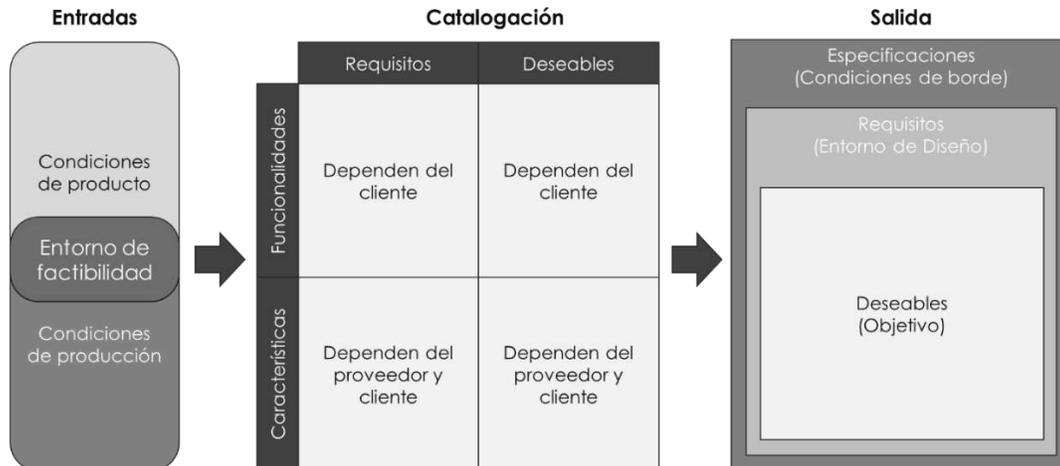


Figura 4. Definición de especificaciones del producto (Fuente; Elaboración propia en base a Boothroyd et al., 2002¹⁵)

Etapa II: Diseño para el Montaje

Una vez obtenidas las especificaciones y, por lo tanto, el entorno de diseño, se deben generar opciones de diseño preliminar, en las cuales se identifiquen sus secciones y componentes base. Las soluciones deben desarrollarse de forma incremental, por medio de ciclos de diseño colaborativo. Para ello, se recomienda diseñar esquemáticamente identificando módulos replicables y especificando los componentes o partes de cada módulo.

En el caso de diseño de soluciones constructivas, se debe conceptualizar el recinto o espacio para determinar sus componentes y la ubicación de éstos. Luego, se deben identificar patrones de repetición de los componentes para determinar módulos replicables que compongan el diseño. Posteriormente, cada módulo puede ser descompuesto en un listado de componentes. Como resultado del ciclo de diseño, se obtendrán modelos esquemáticos de los módulos e itemizados.

El paso siguiente es determinar métodos y/o modificaciones al diseño que permitan minimizar la cantidad de partes y componentes, ya sea estandarizando elementos de los módulos, eliminando elementos que no agreguen valor, concentrando elementos en una sección o desarrollando componentes que integren más de una función. Algunos ejemplos de esto son: utilizar un mismo módulo para dos funciones distintas, estandarizar aspectos como tamaño de puertas y ventanas, concentrar instalaciones en núcleos o utilizar un mismo tabique para que soporte instalaciones y/o artefactos en ambas caras.

Se recomienda que previo al inicio de una sesión de diseño se analice un itemizado de componentes como el de la Tabla 5. Para luego, analizando los esquemas del diseño, identificar modificaciones que permitan reducir componentes. Previo al diseño de la modificación, se requiere consultar con las funciones de producción y operación para garantizar que las soluciones faciliten la producción y montaje y, en lo posible, disminuyan las operaciones requeridas. Una vez obtenidos los requisitos de producción y montaje para el entorno de diseño, se procederá a diseñar la solución en detalle, concluyendo el ciclo con un nuevo esquema e itemizado.

¹⁵ Boothroyd, G., Dewhurst, P., & Knight, W. (2002). Product design for manufacturing and assembly. (I. Marcel Dekker, Ed.) (Second.). New York.

Tabla 5. Itemizado de componentes

Tipo de módulo	Cantidad	Tipo de componente	Cantidad	Cantidad total componentes
Módulo A	4	Comp. ID 1	2	8
		Comp. ID 2	5	20
Total de partes en secciones módulo A:				28
Módulo B	6	Comp. ID 1	4	24
		Comp. ID 3	2	12
		Comp. ID 4	6	36
Total de partes en secciones módulo B:				72
Total de partes y componentes:				100

Se deberán realizar múltiples ciclos para reducir la cantidad y complejidad de componentes de la solución, cuidando siempre que se facilite la producción y montaje, manteniéndose dentro del entorno de requisitos y, en lo posible, de deseables. Sólo se aumentará en detalle a medida que se requiera para especificar cómo disminuir los componentes. Así mismo, se podrán ir descartando soluciones a medida que el detalle permita detectar que la solución sale del entorno de diseño o por medio de la utilización de mecanismos como Choosing by Advantages¹⁶. Se recomienda concluir los ciclos de DfA cuando se ha cumplido uno o más de los siguientes objetivos:

- 1) Se ha alcanzado una reducción del número total de componentes hasta un valor meta fijado por factibilidad o composición objetivo.
- 2) No es posible reducir más el número de componentes sin salir del entorno de diseño.
- 3) Mayores modificaciones al diseño dificultarán la producción o montaje.
- 4) Se ha alcanzado un nivel de detalle de ingeniería básica en al menos una solución factible dentro del entorno de diseño.

A continuación, la Figura 5 presenta un diagrama de la etapa *de DfA*.

¹⁶ Parrish, K. & Tommelein, I.D. 2009, 'Making Design Decisions Using Choosing by Advantages' In: Cuperus, Y. & Hirota, E.H., 17th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Taipei, Taiwan, 15-17 Jul 2009. pp 501-510

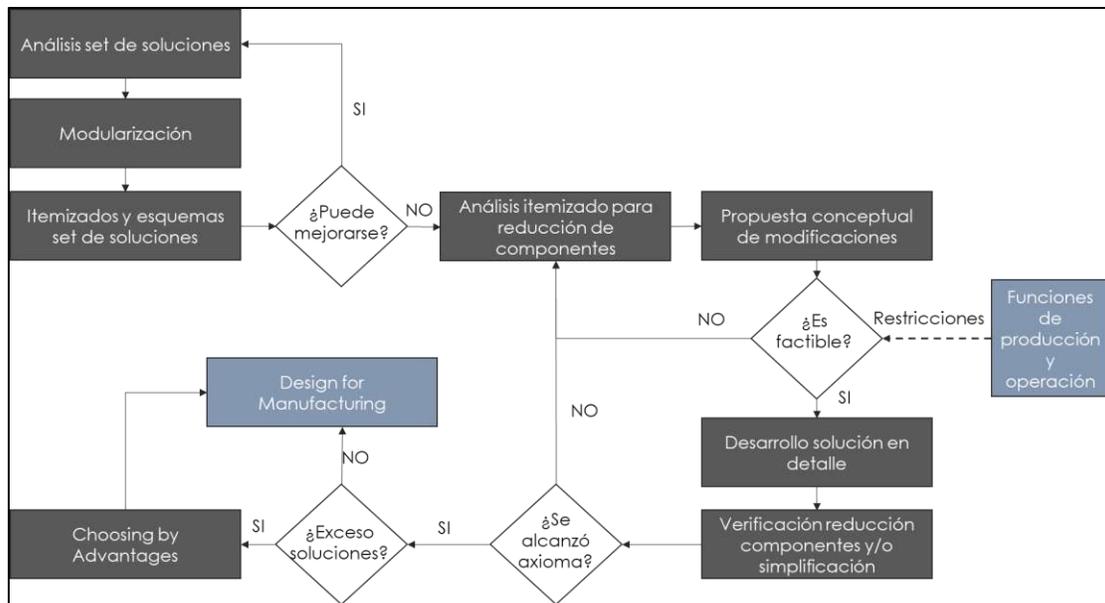


Figura 5. Diagrama DfA (Fuente; Elaboración propia en base a Boothroyd et al., 2002¹⁷)

Etapa III: Diseño para la Manufactura

Una vez culminada la etapa de DfA, se obtienen una o más soluciones en nivel de ingeniería básica, es decir, soluciones con un nivel de detalle suficiente para determinar la composición de cada parte y su función, sin definir aspectos como uniones, mecanismos de ensamblaje, mecanismos de producción u orden de las etapas de manufactura. Para continuar al nivel de ingeniería de detalle (listo para montaje), se requiere optimizar el diseño reduciendo, en primer lugar, costos de producción y, en segundo, la cantidad y complejidad de operaciones necesarias.

Para ello, nuevamente es necesario desarrollar esquemas del diseño, ahora considerando los métodos de producción. En cada ciclo, se desarrollarán opciones de producción y se analizará tanto el costo presupuestado, como el consumo de recursos y la cantidad de operaciones necesaria, por medio del desarrollo de planes de producción.

En primer lugar, para cada diseño en ingeniería de detalle, se deben analizar los costos directos, asociados a materiales y recursos de producción (mano de obra y equipos). Si es posible reducir costos modificando el diseño, se desarrolla una nueva versión del diseño. Si no se pueden reducir los costos, se procederá al siguiente paso, correspondiente al desarrollo de planes de producción.

Los planes de producción deberán considerar tanto las etapas, como la cantidad de operaciones necesarias, consumo de recursos y tiempos. Se analizarán los planes para detectar oportunidades de reducción de la cantidad de operaciones o consumo de recursos, generando modificaciones para el mejoramiento incremental. Se deben realizar ciclos incrementales hasta obtener una solución que sea significativamente mejor al resto de acuerdo con algún método de selección

¹⁷ Boothroyd, G., Dewhurst, P., & Knight, W. (2002). Product design for manufacturing and assembly. (I. Marcel Dekker, Ed.) (Second.). New York.

multi-criterio, como explica el diagrama de la Figura 6. Se recomienda utilizar el método conocido como Choosing by Advantages¹⁸ para ir reduciendo y seleccionando opciones.

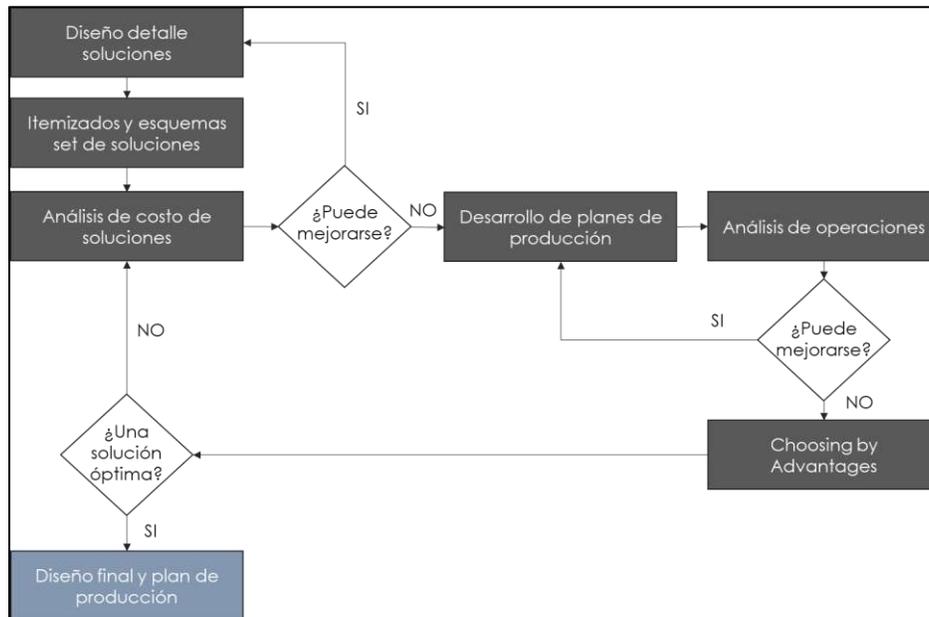


Figura 6. Diagrama DfM (Fuente; Elaboración propia en base a Boothroyd et al., 2002¹⁹).

Etapa IV: Prototipado

Esta etapa es concurrente a la fase de diseño de ingeniería de detalle y la etapa III. El desarrollo de prototipos incrementales de las soluciones permitirá verificar hipótesis de diseño como de producción, además de aportar datos para la selección por ventajas (CBA). Por ello, es recomendable que los equipos desarrollen prototipos de manera temprana, tanto a nivel de *mock-ups* (maquetas) como prototipos funcionales para múltiples alternativas de diseño, los cuales permitirán comprobar factibilidad, analizar costos y consumo de recursos, además de identificar oportunidades de mejora. Se recomienda que los equipos desarrollen al menos un prototipo, esquemático o funcional, para las principales alternativas en cada ciclo de la etapa III, permitiendo descartar tempranamente soluciones no factibles, caras o complejas.

4.2 Recomendaciones para la Producción Lean

Se recomienda la adopción de bases, principios, métodos y herramientas de Producción Lean para facilitar el proceso productivo. La incorporación de Lean permite simplificar y depurar los procesos por medio del análisis de sus flujos, detectando oportunidades de mejora que pueden significar la eliminación de actividades que consumen recursos sin aumentar el valor final

¹⁸ Surh, J. (1999). The Choosing by Advantages Decisionmaking System. Quorum Books. Westport, Connecticut, USA.

¹⁹ Boothroyd, G., Dewhurst, P., & Knight, W. (2002). Product design for manufacturing and assembly. (I. Marcel Dekker, Ed.) (Second.). New York.

entregado al cliente, y el aseguramiento de un flujo continuo de la producción. Para ello, requiere de un análisis detallado y constante de los procesos, de acuerdo a las bases descritas a continuación, con el fin de garantizar una producción acorde con los principios de dicha filosofía. A continuación, se presentan sus bases, principios de producción y prácticas para su aseguramiento.

4.2.1 Bases de Producción Lean

La Filosofía de *Lean Production* surge del enfoque de producción de la compañía automotora Toyota, conocido comúnmente como *Toyota Production System* (TPS). Es un sistema de producción basada en la optimización del proceso de entrega de valor al cliente, por medio de la reducción continua de pérdidas de los procesos productivos, con el foco en maximizar el valor.

Para entender los conceptos de “valor” y “pérdida” de acuerdo a la filosofía *Lean*, es necesario analizar los tres modelos de conceptualización de la producción: El modelo tradicional o de calidad, el modelo de flujo y el modelo de valor. Según la visión tradicional, las pérdidas productivas son resultado directo de un problema de calidad, ya sea la pérdida de un producto defectuoso o el costo de repararlo. Según este modelo, el proceso de producción no tiene pérdidas, sino que éstas se originan al término, cuando se mide la calidad.

El modelo de flujo conceptualiza la producción como un flujo de actividades, con entregables entre cada actividad. El flujo puede ser de información, de recursos o del producto en proceso. Además, cada actividad puede ser catalogada como productiva (ej: soldar, ensamblar, pintar) o no productiva (ej: transportar, revisar, inventariar). Según esta visión, se deben minimizar las actividades no productivas, optimizando los flujos de producción y reduciendo los consumos de recursos. Por ello, toda actividad no productiva constituye una pérdida. Además, el concepto de pérdida del modelo de flujo también considera el costo de no calidad como parte de la pérdida, ya que el trabajo en un producto defectuoso y el retrabajo para reparar un error son actividades que no agregan valor.

El modelo de generación de valor es aún más crítico. Según éste, sólo agregan valor al producto aquellas actividades directamente relacionadas con la función de valor del cliente. Por ende, aspectos como la sobreproducción, sobreprocesamiento e incluso los chequeos de calidad constituyen pérdidas. Según éste modelo, las actividades de flujo (que no agregan valor) pueden ser necesarias o innecesarias, distribuyéndose en trabajo contributorio o no contributorio, respectivamente. De acuerdo a esta visión se deben minimizar las actividades contributorias y eliminar las actividades no contributorias para maximizar el valor entregado.

El modelo de flujo y el modelo de generación de valor presentan conceptualizaciones que se adaptan mejor a la realidad de los procesos productivos, ya que permiten visualizar pérdidas de los procesos como esperas, inventarios o sobreprocesamiento.

El modelo tradicional se focaliza en el mejoramiento exclusivo de la etapa de procesamiento. Por otra parte, el foco de los modelos de flujo y creación de valor, es la minimización del desperdicio y maximización del valor (Koskela et al., 2002). Por ende, es entendido que el objetivo del modelo tradicional es la optimización de la producción, mientras que ambos modelos alternativos adicionan la eliminación o minimización de las actividades de flujo, las cuales constituyen pérdidas (Koskela, 1994).

El enfoque *Lean* de producción ha desarrollado distintas herramientas para la identificación del valor, reducción de pérdidas y maximización del valor. A grandes rasgos, los sets de herramientas de Lean pueden dividirse en:

- Métodos y técnicas para mapear y analizar procesos: Permiten entender ciclos y procesos productivos, identificar flujos de recursos, información y producto, además de clasificar el trabajo en productivo (actividades de transformación) y no productivo (actividades de flujo). Éstos métodos también permiten análisis cuantitativos para detectar pérdidas y oportunidades.
- Métodos y técnicas para estandarizar procesos: Permiten planificar, diseñar y regularizar flujos y procesos. En general, se basan en la detección y reducción de cuellos de botella, minimización de variabilidad, reducción de tiempos de ciclo y set-up, entre otros. Su objetivo fundamental es generar flujos continuos y estables, donde puedan implementarse mejoras.
- Métodos y técnicas para optimizar procesos: Existen métodos para el muestreo del trabajo, búsqueda de causas raíces de problemáticas y detección de oportunidades de mejora, así como métodos de reducción de pérdidas, optimización de flujos, maximización de valor o aumento de la flexibilidad de los procesos, entre otros. Todos se basan en detectar y clasificar pérdidas, buscar causas raíces y atacarlas por medio de métodos de mejoramiento Lean.
- Métodos y técnicas para aumentar la cultura y capacidades organizacionales: Son métodos complementarios a las herramientas de producción y corresponden a iniciativas que mejoran el involucramiento de los trabajadores, su nivel de entrenamiento y productividad, la capacidad de detección de problemas y de plantamiento de mejoramientos. Algunas de las iniciativas más recomendadas son la rotación de trabajadores, multi-tasking, uso del método de los 5 por qué, trabajo colaborativo y planteamiento de planes A3.

4.2.2 Principios de Producción Lean

La filosofía de maximización del valor y minimización del desperdicio requieren de entender el valor y dónde se genera, estabilizar los procesos de producción de valor y luego mejorarlo reduciendo pérdidas. Por ende, el objetivo fundamental de *Lean* es permitir entregar al cliente exactamente lo que quiere, de forma inmediata, sin pérdidas y al mínimo costo posible. La división de dicho objetivo permite la elaboración de los 5 principios fundamentales de la filosofía *Lean* (Womack & Jones, 2003):

1. Especificar el valor desde la perspectiva del cliente: Entender los requerimientos del cliente y su función de valor implica entender sus preferencias, sus tolerancias y sus expectativas, para lo cual, un requisito fundamental es involucrarlo tanto en el diseño como a lo largo de la cadena de valor.
2. Identificar la cadena de valor dentro del proceso la que consiste en 5 pasos: (1) Identificar y mapear las actividades del proceso productivo; (2) clasificar las actividades en productivas, contributorias o no contributorias; (3) identificar los flujos de información, recursos y producto entre actividades; (4) identificar el estado actual del proceso (mapa real) y el óptimo posible (mapa del estado ideal) y; (5) diseñar el mapa de estado futuro, que representa la meta de mejoramiento del proceso. De esta forma, se entiende el proceso fundamental de agregación de valor e identifican todos los flujos y acciones no fundamentales que se han hecho necesarias o visibles producto de la conceptualización actual de la producción.

3. Dejar que el valor fluya a través del proceso de producción: Corresponde a la eliminación de barreras para el flujo estable de producción (cuellos de botella o diferencias de capacidad), así como las barreras que separan los flujos de producción (inventarios de tiempo, recursos o materiales). Para ello, se nivelan las capacidades de producción, estandarizan los flujos de trabajo y reduce la variabilidad e inventarios.
4. Establecer un *pull* tiro de la producción por parte del cliente: Implica lograr que la producción se efectúe sólo cuando y en el momento exacto en que el cliente la necesite. En términos prácticos, este principio implica atrasar hasta el último momento responsable la ejecución de actividades. Dicho momento se detecta cuando hay certeza que la actividad siguiente podrá ejecutarse y es demandada.
5. Buscar la perfección a través de la mejora continua: Esto quiere decir analizar constantemente los procesos en busca de pérdidas y oportunidades, clasificar y priorizar pérdidas y luego atacarlas con herramientas Lean. Esto se llama ciclo de Demming o PDCA (Planificar, Hacer, Controlar y Actuar), que aplicado a la producción sería Diseñar, Producir, Analizar y Mejorar.

4.2.3 Prácticas Lean para la implementación de herramientas

En primer lugar, la planificación y control debe estar alineada con los 5 principios, dado que la planificación debe contemplar la cadena de valor y evitar las detenciones del flujo de valor. Además, el control debe garantizar que la producción es tirada desde el cliente e identificar las pérdidas del proceso para poder eliminarlas. De hecho, la filosofía de *Lean Project Delivery*, focaliza el control como un método para provocar que acciones específicas tomen lugar (Womack & Jones, 2003). Por ende, si la planificación no considera las actividades de flujo, variabilidad y cadena de valor, o si el control no permite detectar pérdidas, la implementación de herramientas Lean no producirá efectos significativos.

Con el fin de asegurar que los procesos se lleven a cabo cumpliendo con los objetivos de minimización de pérdidas y maximización de valor, se han planteado 4 prácticas de la metodología *Lean*, las cuales deben estar inmersas en el proceso productivo y en el proceso de planificación y control (Letelier, 2013):

1. *Pull*: Planificación y ejecución de tiro, a través de un sistema de solicitud de trabajo y recursos desde el fin a inicio del ciclo productivo.
2. *Just in time*: Entrega, uso de recursos y producción en el último momento responsable, sólo lo que se necesita y en el momento en que se necesita.
3. Involucramiento de las unidades productivas: Descentralización e implicación total de los empleados en el proceso de mejora continua.
4. Ciclo de Deming o PDCA: Sistema base para la mejora continua, basado en la realización sistemática de las etapas *Plan* (Planificar) – *Do* (Hacer) – *Check* (Verificar) – *Act* (Actuar).

Así la implementación de los principios *Leany* sus prácticas, se basa en 4 factores principales, los cuales deben desarrollarse en conjunto y de forma balanceada para asegurar una implementación sustentable (Koskela, 1992):

1. **Compromiso de los líderes:** El compromiso en la gestión del cambio y la mejora continua es fundamental para la implementación de la metodología. Se requiere un involucramiento de los líderes y la internalización de la filosofía *Lean* o de lo contrario no se obtendrá un ambiente propicio para el cambio.
2. **Foco en la mejora medible y gestionable:** Es necesario identificar los cuellos de botella y problemáticas de los procesos, a través de mediciones que permitan cuantificar y propiciar la mejora. Algunos factores de los procesos que presentan incentivos de mejora a través de su medición son los tiempos de ciclo, inventarios y la variabilidad.
3. **Involucramiento:** Es fundamental el involucramiento tanto de los trabajadores, a través de grupos de resolución de problemas, como de los especialistas y líderes, quienes tienen un rol fundamental en incentivar el trabajo en equipo, la identificación de problemáticas y el planteamiento de mejoras.
4. **Aprendizaje continuo:** Aprendizaje de los principios de la metodología, aprendizaje empírico del funcionamiento de los procesos, de fuentes externas a través de *benchmarking* y del aprendizaje en base a la experiencia de la implementación de mejoras.

PARTE 2 GUÍA TÉCNICA PARA INDUSTRIALIZACIÓN EN PROYECTOS HOSPITALARIOS



1 CAPÍTULO 1: SELECCIÓN DE RECINTOS

En este capítulo se entregan pasos y criterios para seleccionar los recintos de un proyecto específico de salud que sean más convenientes de industrializar. Además, teniendo en cuenta posibles restricciones de plazo y recursos para realizar la industrialización de todas las partidas seleccionadas, se ofrece también una metodología de priorización, la cual jerarquiza los recintos según las ventajas comparativas respecto de la solución constructiva tradicional, obteniendo de esta forma la lista definitiva de recintos prioritarios a industrializar.

1.1 Selección de Recintos Industrializables

Debido a la alta complejidad de los proyectos de salud, alto nivel de especialización de los recintos y la variabilidad de los requerimientos de funcionalidad de un proyecto y otro, es muy importante que la selección del recinto o elemento a industrializar se realice tomando en cuenta el Programa Médico Arquitectónico (PMA) del proyecto. El PMA permitirá realizar una primera selección de recintos con potencial de industrialización. Dicho potencial se establece según las características y relevancia de un cierto tipo de elementos en el proyecto. La Tabla 6 presenta algunos de los criterios de selección más utilizados.

Tabla 6. Criterios de relevancia (primer filtro de selección).

Criterio de industrialización	Descripción	Ejemplos
Volumen	Recintos cuya superficie y repetición en el proyecto hacen que represente un volumen significativo de la obra	Salas de hospitalización
Estandarización	Recintos cuya configuración (medidas, componentes, orientación) es estandarizada y repetitiva	Baños de acceso universal
Modularización	Espacios autocontenidos sin integración con su entorno o cuyas conexiones están concentradas en un punto	Box de consultas
Funcionalidad	Elementos de ruta crítica complejos de ejecutar en obra que se benefician de la fabricación off-site	Envoltentes
Componentes	Elementos comunes a múltiples recintos, estandarizables como módulos interconectados	Módulos de luminarias

El PMA consiste en la lista de servicios y espacios físicos requeridos según el mandante para el diseño de establecimientos de salud. Contiene los servicios, áreas funcionales, cantidades y dimensiones deseadas de cada uno de los recintos. En el Anexo B se adjunta un ejemplo de PMA de un proyecto tipo, de carácter mediano y 37 servicios hospitalarios. En la segunda parte del Anexo B está el detalle de los equipamientos presentes en cada unidad.

Los criterios de la Tabla 6 están ordenados de acuerdo a la facilidad para identificar recintos candidatos a industrialización. No obstante, la selección no debe basarse en un solo criterio, sino en la aplicación progresiva de múltiples criterios de relevancia, cruzados con condiciones de factibilidad técnica. Por ejemplo, en el PMA del anexo B, se identifican más de 9.000 m² de instalaciones asociadas a cuidados progresivos, el tipo de recinto con mayor volumen del proyecto. Usando el criterio de estandarización, se identifica que la mayoría de éstas corresponden a cuidados pediátricos (3.888 m²) y habitaciones compartidas adultas (2.592 m²). Según el criterio de modularización, ambas habitaciones de superficie y configuración equivalente, pueden diseñarse concentrando todas las instalaciones en un único muro espejado, que permita conectar las cabeceras de las camas de hospitalización a ambas caras. Finalmente buscando la funcionalidad de los componentes, puede elegirse modularizar un núcleo de instalaciones sobre bandeja y módulos de muro estándar que se conecten a éstas y cuenten con las terminales de cabecera.

A continuación, se presentan ejemplos de condiciones de compatibilidad, constructabilidad y factibilidad para el ejemplo anterior (Tabla 7):

Tabla 7. Criterios de factibilidad técnica (segundo filtro de selección)

Criterio de industrialización	Descripción	Ejemplos
Factibilidad	Orientación camas de cabecera	Las terminales y zona de trabajo de enfermería deberá estar a la izquierda de la cabeza del paciente
	Separación gases y corrientes	Garantizar distancia mínima entre gases y corrientes
Constructabilidad	Altura de cielos	Estandarizar cota de piso a cielo técnico
	Luces obra gruesa	Estandarizar dimensiones de sala considerando luz mínima entre pilares
Compatibilidad	Orientación de las salas	Las salas infantiles y adultas deberán tener la misma orientación en ambas configuraciones espejo
	Distancia entre ejes camas y terminales	Igualar distancias de las cabeceras, camas y terminales en habitaciones infantiles y adultas

Una vez determinados los recintos potenciales que cumplen con los criterios de relevancia (1) y de factibilidad (2), se contará con una lista significativa de recintos y componentes potenciales. Aunque todos cumplen los criterios básicos para industrialización, algunos recintos presentan dificultades debido a sus características intrínsecas y conexión con la estructura existente. Así, analizando los pre-requisitos, equipamiento requerido, costo del equipamiento del recinto y complejidad, se elaboran criterios de exclusión como los presentes en la Tabla 8.

Tabla 8. Criterios de exclusión por facilidad/simplicidad (tercer criterio de selección).

Criterio de exclusión	Ejemplo genérico	Ejemplo aplicado al PMA anexo B
Requerimientos previos especiales	Refuerzos estructurales y anclajes precisos in-situ	La Sala de Seriografía requiere de anclajes altamente precisos y complejos para el montaje del Negatoscopio La Sala de Tomografía requiere de la pre-instalación de blindajes, refuerzo de losa y jaula de Faraday
Requerimientos de instalación de equipos especiales	Recintos que incorporan equipos especializados que deben instalarse durante la etapa de construcción	La Sala de Examen Angiográfico requiere de la instalación de un equipo delicado de Angiografía Las salas de laboratorio requieren de la instalación de múltiples equipos complejos que dificultan cerrar el recinto una vez instalado el módulo
Requerimientos funcionales especiales	Recintos que requieren de instalaciones y condiciones muy precisas	Salas de atmósfera controlada, herméticas con sistemas de purificación de aire Salas de atmósfera controlada con presiones positivas o negativas

Una vez seleccionados los recintos y componentes candidatos, se procede a priorizar su deseabilidad, de acuerdo a los atributos de industrialización presentados anteriormente, para ello, se presenta un método de selección basado en el método analítico jerárquico.

1.2 Priorización de Recintos – Elementos o componentes industrializables.

La priorización considera definir aspectos clave de los atributos de industrialización previamente mencionados. Cada aspecto clave será evaluado utilizando una escala cualitativa para cada uno de los elementos. Así, se obtendrá una calificación del beneficio potencial de industrializar diferentes elementos. La calificación es obtenida de la suma ponderada de la evaluación cualitativa de cada atributo del elemento, de acuerdo al proceso presentado en la Figura 7.

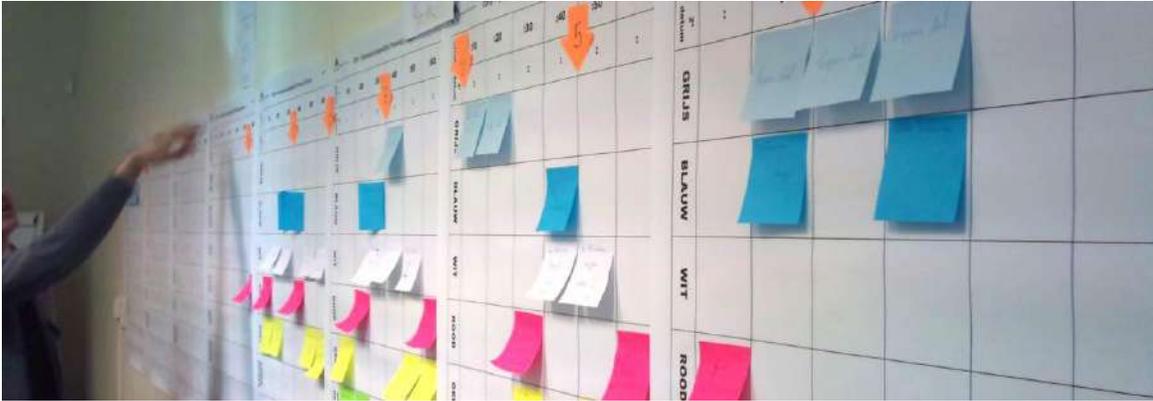


Figura 7. Método de evaluación componentes a industrializar

Los ponderadores utilizados han sido previamente definidos utilizando el método analítico jerárquico, cuyo procedimiento está disponible en el anexo A. De forma resumida, el método evalúa la importancia relativa de un atributo sobre el resto, utilizando una escala cualitativa. Luego, el método permite obtener ponderadores para cada atributo como muestra la Figura 8.



Figura 8. Ejemplo aplicación método analítico jerárquico (AHP)



2 CAPÍTULO 2: PLANIFICACIÓN Y COORDINACIÓN

En esta sección se abordan las consideraciones para planificar un proyecto de construcción que incorpore elementos industrializados. Se considera la planificación inicial del proyecto y de las fases de diseño, fabricación y montaje, considerando las restricciones que implica el uso de sistemas industrializados. Se enfatizan las consideraciones que deben tomarse en cada fase respecto a la planificación y cómo las decisiones tomadas en las distintas fases podrán afectarla.

Los contenidos de esta sección parten de la base de que, en primer lugar, existe una relación cercana entre el mandante, diseñador, contratista y fabricante, los cuales han sido previamente identificados e integrados mediante contratos y prácticas relacionales. Este es un requisito fundamental para que la planificación colaborativa según las restricciones y capacidades de los distintos actores. En segundo lugar, se considera que se han planteado las metas de preparación, fabricación, montaje y recepción *Just in Time* para evitar pérdidas de inventario del proveedor y contratista, por medio del aseguramiento de secuencias estandarizadas de avance. Por último, se entiende a la planificación como un proceso continuo, cíclico y que evoluciona a lo largo de la ejecución de las fases, por lo que se consideran mecanismos que permitan la revisión, desarrollo y actualización de planificación de forma colaborativa entre los actores.

2.1 Bases de la planificación

La planificación es la primera actividad del proyecto, previa al diseño, y estipula los plazos de desarrollo e inicio de obra. Continúa a lo largo de la obra y es evolutiva, por lo que se actualiza a medida que avanza la ejecución o que ocurren cambios de fase. Además, la planificación de las fases se traslapa y ejecuta en paralelo a fases previas, ya que las determinaciones tomadas en una determinada fase afectarán la planificación de la siguiente. Por último, es creciente, por lo que las planificaciones de largo plazo se realizan con niveles de detalle grueso, mientras que a medida que se acerca una fase o que se adquieren menores niveles de incertidumbre, la planificación aumenta en detalle y se obtienen programas más precisos.

La Figura 9, ejemplifica el carácter continuo, iterativo y traslapado de la planificación. En esta se observa que si bien, se comienza por una planificación inicial del proyecto, cada fase requiere su planificación propia, en mayor detalle y que dicha planificación se traslapa con la ejecución de las fases.



Figura 9. Esquema de planificación

La planificación tiene diferentes niveles de detalle según horizonte y propósito de la misma. Los planes iniciales y de largo plazo tienen un nivel de detalle grueso, ya que están sujetos a alta incertidumbre, por ende, su objetivo es principalmente estructurar los programas, definiendo secuencias y plazos entre entregables maestros. Los programas de mediano y corto plazo tienen mayor detalle y menor incertidumbre. Éstos son requeridos para garantizar el cumplimiento de las entregas y controlar las tasas de avance. La Tabla 9 resume la información requerida en diferentes niveles de planificación, sus usos, características y objetivos.

Tabla 9. Resumen de información para diferentes niveles de planificación

Nivel de planificación	Usos	Características	Información contenida	Objetivos	Horizonte y nivel de detalle
Planificación de Largo Plazo	Planificación inicial del proyecto Programa de Fases de Diseño Plan Maestro de Construcción Programas Anuales de Producción	Nivel de detalle grueso y acorde al horizonte de planificación. Se basa en hitos de entregables relevantes que estructuran el programa. Sus plazos son afectos a incertidumbre.	Alcance Estructura del programa Hitos de entrega Actividades madre	Estructurar el programa y explicitar la secuencia. Definir los plazos de ejecución de las actividades madre para garantizar las entregas de acuerdo a la capacidad.	Horizontes anuales (1-4) con granularidad de meses y detalle grueso suficiente para definir estructura y secuencia.
Planificación intermedia	Programas de fases específicas del diseño Programas de fabricación y despacho Programas de mediano plazo de obras	Nivel de detalle intermedio, acorde a los plazos de entregas parciales entre hitos del programa. Su granularidad permite preparar el trabajo y estimar holguras o búfers requeridos para el cumplimiento.	Hitos de mediano plazo Horizontes de entregas finales y parciales Estado de las tareas Holguras y búfers considerados	Organizar el trabajo por medio de la definición de entregas parciales o hitos intermedios. Permitir el análisis de la capacidad, balance del trabajo y definición de holguras o búfers. Facilitar la preparación del trabajo por medio de la reasignación de recursos o actividades.	Horizontes mensuales (1-6) con granularidad de semanas o ciclos y detalle intermedio suficiente para evaluar, balancear y preparar la capacidad de acuerdo a los hitos de entrega.

Planificación de corto plazo	Programas semanales de compromisos Sistemas de control semanal	Nivel de detalle específico, acorde al control semanal y suficiente para identificar variabilidad y tasas de cumplimiento. Identifican paquetes de tareas con responsables y tasas de avance planificados.	Paquetes de actividades Responsables Recursos asignados Metas de avance Asignaciones diarias	Facilitar la programación operacional. Facilitar el control del cumplimiento y tasas de avance. Permitir evaluar y actuar sobre la eficiencia operacional. Aportar datos para la reestructuración de los planes superiores.	Horizontes semanales (1-3) con granularidad diaria, definiendo paquetes de trabajo con inicios y términos claros, así como tasas de avance, que permitan detectar variabilidad y tasas de cumplimiento.
------------------------------	---	--	--	--	---

2.2 Planificación inicial

La planificación temprana es clave para asegurar el cumplimiento de los hitos y metas del proyecto. En esta es necesario que participen activamente, al menos, el mandante, equipo de diseño y contratista. Ellos, una vez definido y entendido el alcance, deberán estudiar las características del proyecto para programar las fases de acuerdo a la experiencia y requisitos del mandante. La planificación inicial comprende el período desde que se encomienda el diseño hasta que se ha culminado la entrega del diseño de detalle y comienza la programación detallada de la obra. Por ello, en esta etapa se incluyen: El desarrollo del diseño del proyecto, la definición del programa maestro y la identificación y diseño de los elementos industrializados a incorporar.

2.2.1 Consideraciones de la planificación inicial

Comienza antes del diseño, pero se desarrolla de forma concurrente, definiendo y ajustando el programa a medida que se toman decisiones. El diseño conceptual es el insumo requerido para estructurar del programa y definir la secuencia de obra. Una vez obtenido el diseño preliminar, se deberá planificar la secuencia constructiva y los plazos de las actividades principales de obra. El diseño de detalle permitirá seleccionar la metodología constructiva y, por lo tanto, ajustar la secuencia constructiva, realizando una bajada a actividades detalladas por sector. En dicho momento, se obtiene el Plan Maestro de Obra. Las especificaciones de diseño permitirán programar actividades detalladas, de acuerdo a los requerimientos de las partidas. Además, son el insumo base para planificar los tiempos requeridos para partidas sistemáticas de control como recepciones de calidad o entregas de sectores de trabajo.

La selección de los elementos industrializados a incorporar en el proyecto se realiza durante el diseño preliminar, en conjunto con la estructuración y programación de la secuencia. Esta termina previo a la planificación del programa maestro, ya que para éste se requiere contar con la metodología constructiva definitiva. El diseño del producto industrializado y método de fabricación es concurrente a la programación maestra, ya que requiere validarse con el programa y ajustarse a los plazos de construcción. Además, el diseño del producto puede poner restricciones al programa de obra, que deberán considerarse en la estructuración del plan maestro. La Figura 10. presenta la interrelación entre programación inicial, diseño de proyecto y diseño de producto.

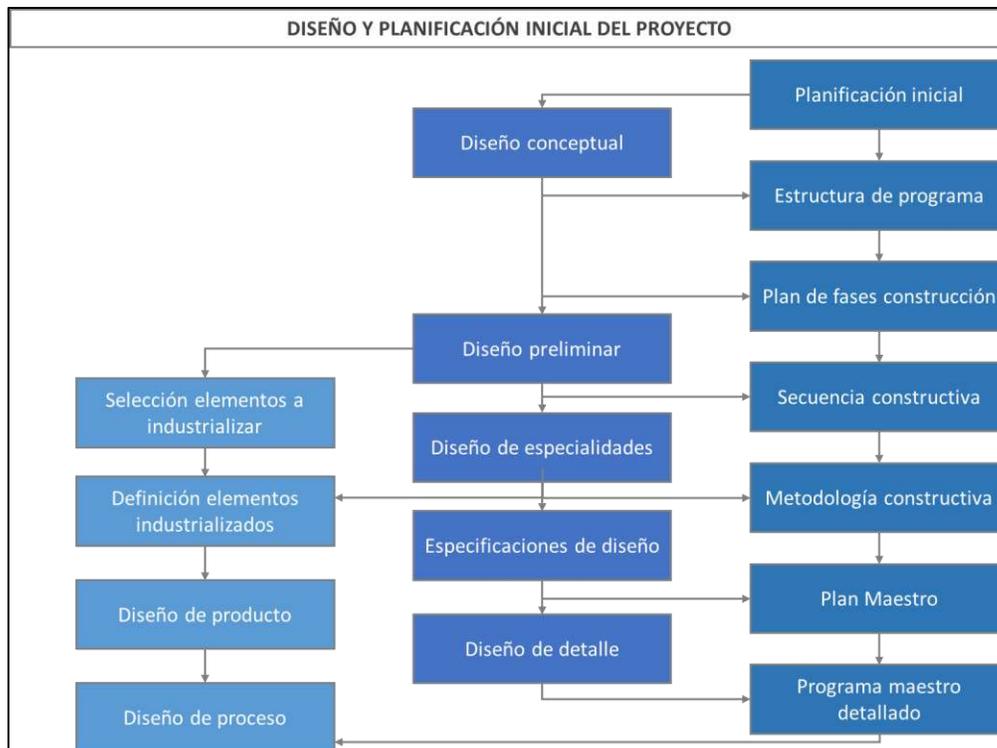


Figura 10. Interrelación entre programación inicial, diseño de proyecto y diseño de producto

2.2.2 Requerimientos de la planificación inicial

La planificación inicial requiere de un proceso de diseño y planificación concurrente, con instancias de revisión y ajuste a la programación, de acuerdo con el avance y especificación del diseño. Por ello, requiere de la actualización y entrega continua de:

Datos de alcance de la obra: Información relevante para la definición de los plazos de obra e hitos del proyecto como volúmenes de obra, cubicaciones, itemizados de obra, especificaciones de diseño, entre otros.

Insumos del diseño: Información relevante para la definición y programación de la secuencia, con niveles de detalle gradualmente incremental, como planos, modelos, especificaciones de detalle, entre otros.

Insumos de constructabilidad: Información relevante para la toma de decisiones de asignación de recursos, programación de holguras y planificación de los plazos de obra y ritmos de avance, como la metodología constructiva, restricciones de secuencia, consideraciones de los sistemas constructivos, entre otros.

2.2.3 Recomendaciones para la planificación inicial

A continuación, se presentan recomendaciones basadas en el diseño colaborativo e integrado a la planificación con la participación de mandante, contratista y proveedor como clientes del diseño:

- Incorpore a los actores tempranamente en la planificación, a medida que se integran al proceso de diseño.
- Evite restringir los plazos de diseño, ya que en esta etapa se identifican y previenen la mayoría de las problemáticas de constructabilidad.
- Planifique considerando y evaluando constantemente las restricciones y requisitos de constructabilidad de la obra.
- A medida que avance el diseño de los elementos industrializados, utilice las sesiones de diseño para la manufactura y montaje como medios para obtener precisiones que permitan ajustar el programa.
- Verifique tempranamente con diseñador y proveedor que los plazos y secuencias definidas en el programa maestro se ajustan a las características del diseño y de los elementos industrializados.
- Solicite tempranamente al proveedor insumos de su experiencia en proyectos previos para planificar los plazos de instalación. Así mismo, verifique que haya considerado en la secuencia la entrega de secciones completas de obra previa terminada y recepcionada para la instalación de los elementos industrializados.
- Genere y explicita restricciones y solicitudes para el diseño del proceso de manufactura de los elementos, que permitan al proveedor entender y clarificar los volúmenes y ritmos de montaje presupuestados en el programa maestro, para que éste pueda diseñar la capacidad del sistema y programar los plazos de producción.

2.3 Planificación en la fase de diseño

La planificación en la fase de diseño debe cumplir un doble propósito: asegurar que se cumplan los plazos de entrega de las definiciones al mandante y contratista; y asegurar que el proceso y la planificación propia de la fase permitan la realización de ciclos virtuosos de análisis del diseño, desarrollo de nuevas soluciones y reestructuración del programa.

2.4 Planificación en la fase de fabricación

La planificación de la fase de fabricación tiene dos grandes etapas: La planificación del diseño y desarrollo del método de fabricación, consistente en el diseño de la línea, diseño de operaciones, preparación y desarrollo del sistema de producción en planta; y la programación de producción, consistente en el control de la ejecución del proceso de fabricación para cumplir con las tasas de producción y con los compromisos de entrega a clientes, manteniendo una eficiencia operacional acorde. La planificación del diseño y desarrollo se efectúa de forma equivalente a la planificación en la fase de diseño de proyecto, mientras que la programación de producción será explicada a continuación.

2.4.1 Programación de la producción

La producción se programa en tres horizontes, similares a los horizontes de planificación del montaje. Éstos son: la programación anual, de mediano plazo y de corto plazo. La programación

anual de producción es la base para el control de la capacidad, control del cumplimiento de las órdenes de compra de clientes y control del negocio. La programación de mediano plazo es el instrumento para el control del cumplimiento de las ordenes de clientes, metas de producción por elemento y cumplimiento de los despachos a clientes. La programación de corto plazo es la base para el control de la eficiencia operacional, permitiendo identificar las tasas de producción, tiempos de ciclo, niveles de ocupación de la línea y tasas de calidad.

2.4.1.1 Programación de largo plazo

La programación de largo plazo, generalmente anual, tiene un nivel de detalle grueso, de totales por orden de cliente y plazos para la producción completa de cada orden. Permite detectar la capacidad del sistema y niveles de ocupación, así como detectar holguras de capacidad y, en base a éstas, redistribuir los planes de producción para nivelar las tasas de ocupación. El control de la programación debe hacerse cada vez que se recibe una nueva orden de compra, redistribuyendo el plan para aprovechar la capacidad y generar espacios para el posicionamiento de nuevas demandas. La Figura 11. presenta un ejemplo de un plan de producción de largo plazo, distribuido por horizontes mensuales.

Orden	Itemizado	Plazo	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov
Cliente A. Proyecto A1	100 x M1	5 meses	20M1	20M1	30M1	20M1	10M1						
	200 x M3	Mayo	40M3	40M3	40M3	40M3	40M3						
Cliente A. Proyecto A2.	400 x M1	5 meses				80M1	80M1	80M1	80M1	80M1			
	250 x M2	Agosto				50M2	50M2	50M2	50M2	50M2			
Cliente B. Proyecto B1	60 x M1	6 meses					10M1	10M1	10M1	10M1	10M1	10M1	
	300 x M3	Octubre					50M3	50M3	50M3	50M3	50M3	50M3	
Cliente B. Proyecto B2.	300 x M2	6 meses Julio		50M2	50M2	50M2	50M2	50M2	50M2				
Cliente B. Proyecto B2.	120 x M1	3 meses									40M1	40M1	40M1
	150 x M2	Noviembre									50M2	50M2	50M2
Producto	Capacidad	Tasa	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov
M1	100	62%	20	20	30	100	100	90	90	90	50	50	40
M2	100	64%	0	50	50	100	100	100	100	50	50	50	50
M3	100	45%	40	40	40	40	90	50	50	50	50	50	0

Figura 11. Ejemplo de plan de producción de largo plazo

2.4.1.2 Programación de mediano plazo

La programación de mediano plazo contiene los planes de producción según los ciclos de producción de las órdenes. Permite programar la fabricación y preparación de las órdenes de acuerdo a los ciclos de despacho planificados por cliente. El nivel de detalle de la programación deberá ser en múltiplos del tiempo de ciclo de producción y sub-múltiplos de los ciclos de despacho. Por ejemplo, si el tiempo de producción de un módulo de baños es de 1 semana y los ciclos de despacho son mensuales, se podrá programar por semana o bi-semanal.

Es importante que, dado que el resultado de la programación de mediano plazo es el cumplimiento de los despachos a tiempo y con sus órdenes completas, la programación de los tiempos de ciclo no debe incluir sólo la fase de producción, sino también la fase de preparación de la orden y logística. En consecuencia, si un módulo se fabrica en 6 días, toma un día revisarlo, un día prepararlo y un día enviarlo, el tiempo de ciclo a considerar será de 9 días, luego si se considera una variabilidad de 10%, se deberá presupuestar una holgura de 1 día adicional para programar los despachos. En consecuencia, el último lote de la orden deberá comenzar su producción a más tardar 10 días antes de la fecha de despacho.

Se busca programar la producción en el tiempo más tardío posible, considerando una holgura de seguridad mínima, para minimizar los inventarios en planta. Aun así, el fabricante puede decidir generar stocks de productos terminados para cubrir la demanda en períodos de tope de capacidad o para asegurar el cumplimiento de determinadas ordenes de despacho. Se recomienda programar la producción de los lotes desde el último hacia atrás, considerando como ritmos de producción múltiplos o sub-múltiplos del tiempo de ciclo.

Una recomendación útil para la programación de mediano plazo es nivelar los ciclos de despacho a los ciclos de producción, esto quiere decir que, si se tienen 4 clientes con ciclos de despacho mensuales para productos que demoran 1 semana, es más útil programar cada despacho en una semana distinta que juntar despachos en una misma semana. Lo anterior se debe a que, al nivelar ambos ciclos, se reduce el tiempo total de inventario promedio en la planta, lo cual estabiliza los flujos y adecúa la producción a un sistema *Just in Time* o de mínimo inventario, reordenando la producción y *kits* por orden de despacho.

2.4.1.3 Programación de corto plazo

Los planes de corto plazo están especificados en general para una semana o múltiplos del tiempo de ciclo de producción de los productos, con un detalle por jornada. Estos identifican metas de producción de cada orden por día, tasas de producción por etapa, tasa de ocupación de las estaciones e inventario existente por día, entre otros. El control diario es clave para detectar desviaciones en las metas, variaciones en las tasas de calidad, reducciones de inventarios, cuellos de botella y otra información que permita prevenir fallas en la completitud de las órdenes de despacho o desviaciones en los programas de producción de mediano plazo. El control de la eficiencia operacional es complementado por indicadores de productividad como tasas de producción por estación y tiempos de ciclo de cada etapa del proceso. Éstos permiten reestructurar los programas, nivelando capacidades o reordenando prioridades para evitar desviaciones en las metas semanales. Debido al nivel de detalle requerido para los programas, es posible que éstos se subdividan en programas específicos por estación de trabajo o etapa del proceso. Aun así, es de suma importancia que los programas estén alineados y que exista una visión completa del proceso para evitar que se generen aumentos de inventario, quiebres de stock o incumplimiento de metas de producción requeridas.

En consecuencia, la información mínima que deben contener los programas de corto plazo es:

- Insumos requeridos por día en cada etapa y estación de trabajo
- Metas de producción diarias por cada etapa del proceso y estación de trabajo
- Niveles de inventario programados por día, etapa y estación de trabajo

- Meta de productos terminados por día
- Nivel de avance planificado de cada orden por día
- Programación de los despachos por día

2.5 Planificación en la fase de montaje

La planificación en fase de montaje tiene por objetivo instaurar un flujo continuo de producción en obra, que permita recepcionar, montar y entregar zonas con los elementos industrializados a tasas estándar de acuerdo a tiempos de ciclo definidos. Se generan planes en distintos niveles, cuyo objetivo es garantizar distintos niveles de cumplimiento y balance para el control de variabilidad. En el largo plazo, el objetivo es programar y balancear la capacidad, de acuerdo a las metas de avance. Vale decir, se programan sectores en cada fase de construcción, de acuerdo a los ritmos de producción calculados en la planificación de mediano plazo y la tasa de cumplimiento de avance y variabilidad logrados en los planes de corto plazo.

En los planes de mediano plazo, el objetivo es balancear y reordenar el trabajo, por medio de la redistribución de hitos de entregas parciales, holguras temporales de actividades y búfers de recursos. En primer lugar, se busca asegurar el cumplimiento de las entregas parciales y los hitos intermedios del programa. Segundo, se identifican y planifican actividades para el aseguramiento de condiciones propicias de ejecución, como la liberación de restricciones a la ejecución de las actividades, la recepción de zonas, coordinación de los despachos y gestión proactiva de la calidad y seguridad. El plan se nutre de la estructura y metas de programa definidas por el Plan de Largo Plazo, la información de eficiencia operacional que otorga el control de los planes de corto plazo y la información de alcance obtenida del control de los indicadores de cumplimiento del Plan Maestro.

Los planes de corto plazo se utilizan para realizar un cruce entre las asignaciones de paquetes de trabajo y las asignaciones de recursos. Permiten un control detallado del cumplimiento, tasas de avance y tasas de productividad, es decir, velocidades de avance por nivel de consumo de recursos en cada paquete de trabajo. Su objetivo es controlar y estimar el cumplimiento de los programas de mediano plazo, otorgando información clave para la asignación de capacidades y holguras en el plan intermedio.

2.5.1 Planificación y control operacional del montaje

El objetivo de la planificación y control operacional es reducir la variabilidad de los flujos de producción. Para ello, se requiere proteger los paquetes de trabajo, controlando que las tasas de ejecución de las actividades de obra se nivelen a las tasas de recepción e instalación de los elementos industrializados. Se recomienda utilizar un método sistemático de planificación y control distribuido en los tres horizontes anteriormente mencionados, similar al método Last Planner System (LPS) (Ballard, 2000b). Para ello se requiere analizar sistemáticamente un horizonte de mediano plazo similar a un mes, en el cual identificar actividades de preparación del trabajo, y generar planes detallados de corto plazo, en los cuales asignar recursos y controlar tasas de cumplimiento. Ambos planes deben controlarse sistemáticamente por medio de indicadores de preparación del trabajo y de cumplimiento del trabajo (Ballard & Howell, 1998).

A continuación, se presentan tres horizontes de planificación que se utilizan para el control operacional (Ballard, 1994):

- a) Planificación maestra o de largo plazo: Define los objetivos y alcance del proyecto, con un foco en la definición y coordinación de lo que DEBE hacerse. Permite medir tasas de avance y volúmenes de obra.
- b) Planificación intermedia o *Lookahead Plan*: Consiste en un programa detallado de los requerimientos para cumplir hitos en un horizonte de uno a tres meses. Permite hacer un *pull* o planificación de tiro de lo que PUEDE hacerse, a través de la revisión de recursos e impedimentos para la ejecución de lo que DEBE hacerse.
- c) Planificación de Corto Plazo: Consiste en un programa semanal detallado con recursos asignados por partida. Los recursos se asignan mediante compromisos de avance semanal. Permite definir lo que se HARÁ en base a lo que PUEDE y DEBE hacerse. Su control sistemático permite reconfigurar el plan de mediano plazo.

El método requiere definir al menos 1 hito mensual de avance, es decir, una zona a completar, definida por un número de recintos a ejecutar. Estos pueden determinarse mediante el análisis del Plan Maestro, se controlan semanalmente y se ajustan según las tasas de avance observadas. El mediano plazo (Lookahead) queda representado por el período comprendido hasta el próximo hito. El Lookahead definirá actividades de preparación del trabajo, tanto de ejecución de avance como de liberación de restricciones. En el mediano plazo se controlará semanalmente la tasa de cumplimiento del trabajo preparado, reajustando el programa de acuerdo a ésta. Los compromisos de ejecución se representan en actividades detalladas dentro de cada semana, cada una de las cuales tiene recursos asignados y una fecha pactada de entrega. El control semanal del corto plazo debe medir el cumplimiento de las entregas en fecha para evaluar la variabilidad del programa y tomar medidas correctivas (Letelier, 2013). El efecto de planificación de tiro, o *Pull*, se produce al reestructurar el plan de mediano plazo para disminuir la variabilidad semanal (Lagos, 2017).

El factor fundamental para la efectividad del método es que la planificación de Lookahead permita detectar qué condiciones deben existir para que una tarea pueda ejecutarse. Dichas condiciones se llaman "Restricciones". Las Restricciones se marcan y asignan a cada tarea. Una tarea libre de restricciones representa un compromiso ejecutable en el corto plazo, por lo que se programa para la semana entrante. Una tarea con restricciones se pospone reajustando la secuencia para asegurar que esté lista en el momento en que está planificada (Ballard, 2000b). En términos prácticos, el método requiere que se planifiquen los despachos a obra en un horizonte mensual, luego, para cada kit de despacho se designa una sección a preparar, correspondiente a los recintos donde se instalará cada kit. Se deben analizar las tareas requeridas para preparar cada sección, programando primero las tareas del kit más próximo y asegurando que dicha sección esté libre de restricciones al momento de la entrega. Por último, el plan de corto plazo detalla tanto la preparación de la entrega de la sección, como el montaje e instalación del kit despachado en cada semana, asignando una cuadrilla y equipo específico a cada uno.

A continuación, la Figura 12 presenta un esquema de Lookahead, en un horizonte de 4 semanas. En dicho programa se identifican actividades requeridas por sección de obra, conectadas a un hito de despacho e instalación. Cada actividad es clasificada en colores según el estado de sus

Programa Corto Plazo					Semana 1							Causa de no Cumplimiento				
Tarea	Avance planificado	Avance real	Cumplimiento	Tasa cumplimiento	1	2	3	4	5	6	7	Detención no voluntaria	Accidente	Falta de partida previa	Falta de mano de obra	Falta de material
Desencofrado sección A1 ejes 1 a 6	100%	100%	1	100%	■	■										
Instalaciones sección A1 ejes 1 a 6	100%	100%	1	100%			■									
Acometidas sección A1 ejes 1 a 6	100%	100%	1	100%				■	■							
Anclajes sección A1 ejes 1 a 6	100%	80%	0	80%					■	■					X	
Hormigón sección A2 ejes 7 a 13	100%	100%	1	100%			■									
Desencofrado sección A2 ejes 7 a 13	100%	90%	0	90%					■	■		X				
Instalaciones sección A2 ejes 7 a 13	50%	30%	0	60%							■			X		
Porcentaje del Plan Completado					57%											
Porcentaje del Trabajo Completado					90%							1	0	1	1	0

Figura 14. Ejemplo carta de control del Plan de Corto Plazo (Fuente: Elaboración propia en base a Lagos, 2017).

2.5.2 Indicadores de control

Existen 7 indicadores ampliamente utilizados para estudiar el cumplimiento de compromisos, cada uno de los cuales entrega información complementaria a la gestión del programa y la búsqueda de Causas de no Cumplimiento (Alarcón et al., 2014; Cisterna, 2013; Letelier, 2013; Sabbatino, 2011):

- Pocentaje del Plan Completado (PPC):** El PPC es una herramienta eficaz para controlar el cumplimiento de programa, ya que guarda estrecha relación con la producción semanal y productividad (Alarcón & Calderón, 2003). De forma similar, el PCR ha sido utilizado como predictor del PPC y del cumplimiento del avance en el mediano plazo (Alarcón, Salvatierra, & Letelier, 2014). Además, Las CNCs son evaluadas semanalmente para identificar problemas recurrentes y plantear acciones correctivas (ACs), las cuales serán implementadas en uno de los períodos de corto plazo del Lookahead (Ballard, 1994).
- Causas de no Cumplimiento (CNCs):** Las CNCs también son registradas en un inventario histórico y analizadas a través del uso de herramientas como gráficos de Pareto. El registro y análisis sistemático de CNCs, junto a la búsqueda de causas raíces a través de métodos como los “5 por qué” permiten identificar problemáticas recurrentes y tomar acciones correctivas para prevenir o minimizar la aparición futura de las problemáticas identificadas (Ballard, 2000b).
- Índice de Desempeño de Programa (IDP o SPI):** Este indicador se deriva del Método del Valor Ganado y mide el cumplimiento del programa planificado hasta la fecha, expresado como decimal o porcentaje. El SPI se mide como el avance real sobre el avance planificado, acumulado hasta la fecha de corte. Por ende, un valor menor a 1, representa un cumplimiento menor al plan y un porcentaje mayor, representa un cumplimiento sobre lo esperado (Letelier, 2013).

- d) Porcentaje del Trabajo Completado (PTC o PWC): Este indicador refleja el cumplimiento del avance semanal planificado. Al igual que el SPI, se calcula como el avance real sobre presupuestado, sin embargo, éste considera sólo el trabajo planificado en la semana. Por ende, representa un indicador complementario al PPC al representar el grado de cumplimiento ponderado de las tareas planificadas (Jang & Kim, 2007).
- e) Porcentaje de cumplimiento de restricciones (PCR): Este indicador fue planteado con el objetivo de medir el proceso de habilitación de trabajo ejecutable. Originalmente fue definido como la relación entre el número de tareas libres de restricciones para la semana y el número de tareas en el plan semanal. (Jang & Kim, 2007). Sin embargo, éste indicador ha sido utilizado en investigaciones posteriores como el número de restricciones liberadas en la semana sobre el total comprometido para la semana (Alarcón et al., 2014; Cisterna, 2013; Letelier, 2013; Sabbatino, Alarcón, & Toledo, 2011). La segunda forma del PCR ha mostrado ser una herramienta útil para la identificación temprana de tendencias del desempeño de proyectos (Alarcón et al., 2014).
- f) Tareas anticipadas (*Tasks Anticipated* o TA): Este indicador fue planteado por Ballard en los inicios del sistema *Last Planner*, como método de evaluación del proceso de planificación intermedia. El indicador se obtiene de analizar el porcentaje de tareas comprometidas en el plan de corto plazo que fueron incluidas en el *Lookahead* de 1 o más semanas anteriores. Además, el indicador puede ser medido para un cierto número de semanas de anticipación, permitiendo analizar la capacidad de prever el trabajo a ejecutarse en el mediano plazo (Ballard, 1997).
- g) Tareas preparadas; (*Tasks Made Ready* o TMR_i): Este indicador mide el porcentaje de tareas planificadas con (i) semanas de anticipación, que participan del plan de corto plazo actual. Cabe mencionar que esto implica considerar las tareas planificadas para la semana según el plan de *Lookahead* de (i) semanas anteriores y las tareas que participan del plan de corto plazo como aquellas cuyas restricciones fueron liberadas antes de la fecha de ejecución de la tarea. Es decir, el TMR_i mide el porcentaje de preparadas con éxito para su ejecución en el corto plazo, que fueron planificadas con al menos (i) semanas de anticipación (Ballard, 1997; Emdanat & Azambuja, 2016; Hamzeh & Aridi, 2013; Hamzeh, Ballard, & Tommelein, 2012).

Para mayor información al respecto y profundización en los conceptos se recomienda recurrir a Ballard (2000b), Letelier (2013) y Lagos (2017).



3 CAPÍTULO 3: FASE DE DISEÑO

El diseño de proyectos de infraestructura hospitalaria es altamente complejo debido a la especificidad de sus instalaciones y sistemas y a la gran cantidad de actores involucrados en el proceso. Uno de los factores que determina el éxito de la implementación de componentes industrializados, es la incorporación de las soluciones en etapas tempranas del diseño por parte de los equipos (O'Connor, J. T., O'Brien, W. J., & Choi, J. O. 2014)²⁰, ya que la incorporación tardía implica intervenir el diseño u obras ya ejecutadas, por lo que su uso no es factible o no resulta eficiente. Para asegurar la correcta incorporación de los elementos, se debe llevar a cabo un proceso sistémico en el cual las soluciones industrializadas y el proyecto se desarrollen de forma flexible, sin comprometer la intención de la idea arquitectónica.

3.1 Diseño Arquitectónico

El diseño de un proyecto hospitalario de alta complejidad representa un esfuerzo y un trabajo importante, multidisciplinario y de larga duración. Por esto existe la tendencia en las entidades mandantes, a abreviar el proceso buscando replicar soluciones aplicadas en otros proyectos, ya sea total o parcialmente. Una réplica amplia o total es completamente inviable o al menos inconveniente, ya que aun coincidiendo con las necesidades sanitarias que respaldan el proyecto, el contexto de sitio y las condiciones de implantación nunca serán replicables, ni siquiera en proyectos medianos o menores. (Ministerio de Salud, 2017)²¹

Sin embargo, la réplica de un componente o una unidad de diseño repetitiva de un sector, como el box, la sala de hospitalización, el quirófano o simplemente los baños, si es posible y conveniente estandarizarlo, incluso un lenguaje de formas común es posible de adoptar por múltiples proyectos. Sus sistemas modulares de agrupamiento son replicables, como unidades de enfermería de una cantidad establecida de camas por tipo de complejidad, o clúster de quirófanos de un área mayor de pabellones del hospital (Ministerio de Salud, 2017)²².

²⁰ O'Connor, J. T., O'Brien, W. J., & Choi, J. O. (2014). Critical success factors and Enablers for optimum and maximum industrial modularization. *Journal of Construction Engineering and Management*, 140(6), 1–11. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000842](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000842).

²¹ Ministerio de Salud, G. de C. (2017). Orientaciones Técnicas Para Diseño de Anteproyectos de Hospitales Complejos.

²² Ministerio de Salud, G. de C. (2017). Orientaciones Técnicas Para Diseño de Anteproyectos de Hospitales Complejos.

Cabe destacar que aunque se pueda replicar componentes o unidades de diseño, a diferencia de la producción en masa de piezas de estanterías prefabricadas, los edificios complejos, como los hospitalarios, requieren un diseño y fabricación personalizada de componentes "diseñados a medida" lo que requerirá un diseño e ingeniería sofisticados y una intensa colaboración entre diseñadores para asegurar que los componentes o soluciones se adecuen dentro del edificio sin interferir con el resto de la construcción (C. Eastman et al., 2008)²³. Según el *Smart Report Prefabrication and Modularization: Increasing Productivity in the Construction Industry* (McGraw Hill Construction, 2011)²⁴ el sector hospitalario es muy adecuado para las técnicas de fabricación fuera del sitio y modularización. El layout interior de un hospital presenta muchos recintos repetitivos en el que su diseño responde principalmente a temas funcionales y normativos. Por ejemplo, la distribución interior de las habitaciones de los hospitales permite un uso eficiente de la modularización, así también los baños, recintos de aseo, tabiques técnicos, etc.

3.1.1 La grilla

Las grillas son un sistema geométrico de organización que permite que los componentes del edificio y los elementos prefabricados tengan dimensiones estándar. Estos se basan generalmente en organizaciones cuadradas y rectangulares, creando así componentes rectos, paneles y módulos volumétricos ortogonales, aunque no necesariamente. Los sistemas estructurales se colocan a menudo en una rejilla axial (figura 15A), mientras que los paneles y módulos se desarrollan en una rejilla modular (figura 15B).

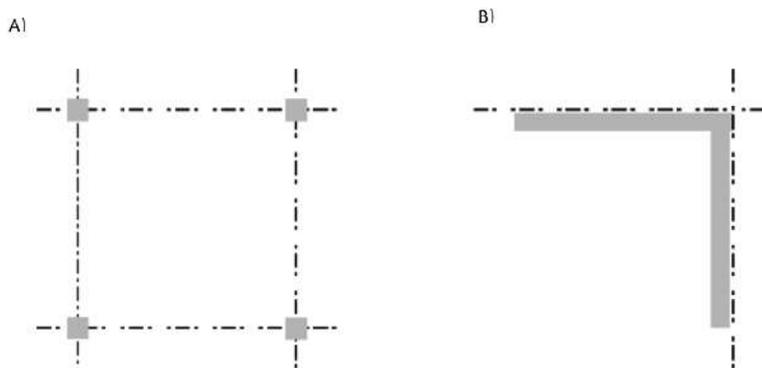


Figura 15. Rejillas para modularización

Las rejillas modulares se basan en la ubicación y las dimensiones reales de los elementos del edificio. Esto tiene en cuenta la realidad tridimensional de los elementos, incluyendo su altura, anchura y grosor. Por lo tanto, las rejillas modulares se utilizan principalmente en paneles y sistemas modulares. (Smith, 2011)²⁵

²³ Eastman, C. M., & Sacks, R. (2008). Relative productivity in the AEC industries in the United States for on-site and off-site activities. <https://doi.org/10.1061/ASCE0733-93642008134:7517>

²⁴ McGraw Hill Construction. (2011). *Prefabrication and Modularization: increasing productivity in the construction industry. Building.*

²⁵ Smith, R. E. (2011). *Prefab Architecture: A Guide to Modular Design and Construction.* John Wiley & Sons, Inc. <https://doi.org/10.1017/CB09781107415324.004>

En Chile, la tendencia en los proyectos hospitalarios de alta complejidad, en especial cuando se proyectan con sistemas de amortiguamiento sísmico, es usar una modulación general única para todo el proyecto, basada en un sistema aporticado bajo una trama ortogonal de 8 x 8 m aprox. o similar que se adapte a determinadas materialidades. Sin embargo, una trama regular no siempre calza con todos los requerimientos de planificación de las distintas áreas. Por ejemplo, una crujía de 8 m de ancho no se adapta al formato de box de consulta. Como unidad base para establecer la grilla pueden buscarse múltiplos de algún formato de material dominante o determinante de la arquitectura. También pueden considerarse otros formatos asociados a revestimientos o materiales de base, pensando el mejor aprovechamiento del material. El uso de una grilla estándar para desarrollar todos los proyectos hospitalarios en Chile es una buena estrategia para fomentar la industrialización en la industria.

3.1.2 Construcción modular volumétrica

Cuando se ha optado por utilizar el sistema de construcción modular volumétrica (tridimensional) fabricadas fuera del sitio de trabajo, se debe tener en cuenta que el diseño de este sistema puede considerar volúmenes autosoportantes que se insertan en una estructura (ya sea prefabricada o no) o de múltiples volúmenes estructurales que conforman un edificio. Independiente de cuál de los dos sistemas se trate, el diseño de estos debe ser parte fundamental del diseño del proyecto. La participación temprana de los proveedores e ingenieros de especialidades será beneficioso para el proyecto. El uso de módulos volumétricos depende en gran medida de la configuración, los tamaños, las dimensiones y pesos que puedan alcanzar estos, ya que de esto dependerá el transporte y de la logística dentro del sitio de construcción. El peso del módulo a su vez depende de la elección del tipo de material escogido, los tipos de terminaciones, etc.

El diseño del módulo volumétrico o sistemas panelizados, debe tener en cuenta la transportabilidad de estos al sitio, la que se puede ver influenciada por las rutas de transporte previstas (es decir, desde fuera del emplazamiento) y los tipos de transporte disponibles en la industria. Esta es una de las razones de la importancia de incorporar a los proveedores y fabricantes en etapas tempranas del desarrollo del proyecto. Singh, Sawhney, & Borrmann, (2015)²⁶ destacaron que, al integrar las reglas de construcción modular con BIM, los diseñadores pueden automatizar complejas actividades de modelado y documentación, mejorando así el proceso de diseño.

3.1.3 Estandarización

El concepto de estandarización industrial se originó a finales del siglo XVIII cuando Whitney lo desarrolló por primera vez y lo aplicó a la fabricación de rifles (Bellis, 2011). A principios del siglo XX, Henry Ford creó la Ford Motor Company y llevó la estandarización a un nivel superior con cada modelo de automóvil que salía de la línea de producción era idéntico (Ford & Crowther, 2007). El enfoque estandarizado emergente para la fabricación no sólo redujo los costos de producción, sino que también hizo que las piezas de repuesto fueran más accesibles, ya que ya no tenían que ser mecanizadas a mano. Así pues, el concepto de estandarización se ha utilizado para lograr

²⁶ Singh, M. M., Sawhney, A., & Borrmann, A. (2015). Modular Coordination and BIM: Development of Rule Based Smart Building Components. In *Procedia Engineering* (Vol. 123, pp. 519–527). Krakow, Poland. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2015.10.104>

aumentos espectaculares en la productividad de la fabricación, lo que a su vez ha contribuido a mejorar la calidad de vida de las personas y los estándares de calidad.

El termino se define como "La formulación, publicación e implementación de directrices, reglas y especificaciones para uso común y repetido, con el fin de lograr un grado óptimo de orden o uniformidad en un contexto, disciplina o campo dado" (Business Dictionary, 2011). Según el Diccionario de Farlex (2011), la estandarización en el diseño es "la adopción de procedimientos, dimensiones, materiales o piezas uniformes generalmente aceptados que afectan directamente al diseño de un producto, una instalación o edificación".

La estandarización permite a quienes no están familiarizados con la nueva ubicación seguir un proceso o un diseño estándar, ya experimentado o probado, que conduce a diseños más eficaces y prácticas de trabajo seguras y eficientes. Las soluciones innovadoras a la estandarización del espacio deben responder al contexto que se está considerando, pero hay algunos principios y conceptos genéricos que se aplican a la mayoría de las situaciones.

Aunque hay poca evidencia relacionada con el impacto de la estandarización del espacio de atención médica, generalmente se acepta en la atención médica que los entornos estandarizados soportan la estandarización de procesos y flujos de trabajo, lo que a su vez debería mejorar el rendimiento y la productividad. Dado que se reconoce el impacto del entorno físico en la eficiencia del proceso de atención al paciente, se han buscado variadas áreas potenciales en que adoptar diseños estandarizados para recintos de salud, como salas de hospitalización, cirugía y urgencias, entre otros.

Sin embargo, el diseño del espacio sanitario es un proceso complejo que implica muchos parámetros diferentes y partes interesadas con percepciones diferentes en cuanto a lo que constituye calidad y valor. En un estudio reciente que investigaba a arquitectos de la salud utilizando la guía de diseño (Hignett & Lu, 2008), se descubrió que algunos de los arquitectos entrevistados describieron su experiencia de haber estado involucrados en 15 hospitales diferentes y haber visto la disposición clínica para la misma área funcional de 15 maneras diferentes.

La búsqueda de referentes internacionales, proporciona información sobre las buenas prácticas de estandarización de proyectos hospitalarios, como el wc estandarizado de Avanti Architects, el tabique con línea de vida estandarizado de Arup y las habitaciones estandarizadas en el hospital de Pembury (National Patient Safety Agency, 2010). Building Design Partnership (BDP, 2004) afirma que los hospitales en Francia se construyen principalmente utilizando componentes y sistemas estándar prefabricados por fabricantes habituales.

Un caso particular de éxito corresponde al Hospital de Denver en Norteamérica, que estandarizó 440 baños. Los baños fueron diseñados especialmente para la prefabricación y la construcción rápida, y se recopilaron datos detallados del contratista del proyecto. Los resultados muestran que, con la ayuda de la prefabricación, el recuento de partes para un baño podría reducirse de 4,000 a aproximadamente 60. Para un total de 440 baños en ese proyecto, el recuento de piezas se redujo de aproximadamente 1,7 millones a 25,000, lo que equivale a un 98,5 % de reducción en el número total de piezas en el sitio. El contratista estimó que la prefabricación del baño podría resultar en 7

meses de ahorro de horario, 150,000 horas o trabajo trasladado desde el sitio al sitio, y aproximadamente un 3% de ahorro en costos generales²⁷.

En cuanto a los requisitos de espacio, el esfuerzo de estandarización se puede aplicar en distintos ámbitos del diseño, es decir, al tamaño, forma y disposición de la sala, incluso a la posición de las puertas, así como a los mismos equipos, muebles y dispositivos y a su ubicación y almacenamiento. Por ejemplo, cuando el personal clínico entra en la habitación de un paciente, si está familiarizado con la forma en que está dispuesto y dónde están ubicadas las cosas en la habitación, puede llevar a cabo sus tareas de manera eficiente. Por lo tanto, para definir un espacio bien estandarizado, los componentes adecuados deben colocarse en la misma posición de un área con el tamaño y la forma estandarizados.

3.1.4 Coordinación modular (PROYECTO DE NORMA – prNCh3509/1)

Esta norma define la coordinación dimensional como la convención sobre la relación entre los valores de las dimensiones de los componentes de la edificación y las edificaciones, en las cuales se han considerado el diseño, fabricación y montaje de los componentes que incorpora. Así mismo, define que la coordinación dimensional utiliza el módulo básico, multi-módulos, sub-módulos y un sistema de referencia modular.

La inserción de la coordinación modular en la construcción constituirá un paso positivo para optimizar la industria para la conversión del sistema métrico en planos, diseño, construcción, montaje y fabricación de los materiales y componentes de construcción. De este modo esta norma apunta a proveer un enfoque práctico para lograr los objetivos siguientes:

- a) Facilitar la cooperación entre los diseñadores, fabricantes, distribuidores, contratistas y autoridades;
- b) En el trabajo de diseño, permitir que las construcciones estén bien dimensionadas para que puedan ser levantadas con las normas sin restricción de diseño;
- c) Permitir una estandarización flexible, que incentive el uso de componentes de construcción estandarizados para la construcción de diferentes tipos de edificaciones;
- d) Optimizar la cantidad de tamaños estándar de los componentes de construcción;
- e) Incentivar en mayor medida el intercambio de componentes, ya sea material, forma o método de fabricación;
- f) Simplificar los lugares de operación para justificar la ubicación, posición y montaje de los componentes de construcción;
- g) Asegurar la coordinación dimensional entre la instalación (equipo, almacenamiento, muebles montados, entre otros) al igual que con el resto de la construcción; y
- h) Disminuir los residuos provenientes de los procesos de construcción.

²⁷ Building Design and Construction Network, 2015. Building Team Awards. Editorial News. Prefab saves the day for Denver hospital.

3.1.5 Coordinación Temprana

La coordinación temprana entre Mandante, Arquitecto, Ingeniero Estructural, Ingenieros MEP, Constructores y Fabricantes, es esencial, ya que esto permitirá al equipo analizar los aspectos clave del diseño de antemano, entre los que se incluyen diseño del layout, niveles, sistema estructural compatible, sistemas de sujeción, etc.

Con una planificación inicial adecuada para integrar un módulo volumétrico o un componente panelizado al diseño general del proyecto, se pueden conseguir características de diseño atractivas y soluciones constructivas efectivas, como una fachada curva y una disposición en planta no regular.

3.1.6 Dimensionamiento en Planta

En general las consideraciones a tomar en el diseño de la planta de un módulo volumétrico o un componente panelizado, tienen que ver con asegurar que el diseño cumple con los requisitos reglamentarios y normativos estándar a toda edificación. Así como también asegurarse que aborda todos los temas funcionales que se requieran. Las consideraciones adicionales que deben tomarse podrían incluir:

- Asegurar que la dimensión en planta permite el transporte de la fábrica al sitio de construcción.
- Asegurar que la dimensión en planta considera cómo se ingresará el módulo volumétrico o componente panelizado a la obra en construcción.
- Asegurar que el diseño ha considerado el *layout* donde serán insertados o cómo éstos afectarán la naturaleza de las disposiciones internas, tomando en cuenta las tolerancias con respecto a los elementos estructurales, ubicación de *shaft* o conexiones en caso de incluir sistemas mecánicos, eléctricos o sanitarios, así como también considerar cómo se ejecutarán los sellos en los puntos donde se unirán con el resto de la estructura.

3.1.7 Dimensionamiento de la Sección

Las consideraciones para tomar en cuenta en relación a la sección en el diseño de un módulo volumétrico o componente panelizado tiene que ver al igual que en el punto anterior, con asegurar que el diseño cumple con los requisitos reglamentarios y normativos estándar a toda edificación. Así como también asegurarse que aborda todos los temas funcionales que se requieran.

En general los proyectos hospitalarios tienen dimensiones en sección mayores comparados con otros tipos de edificación, las que varían entre 4.2 y 5.0 metros de altura de piso a piso. Esta característica podría determinar la factibilidad de prefabricar recintos completos, debido a las dimensiones y restricciones de transporte.

Como consideraciones adicionales se deben tener en cuenta:

- Asegurar que la altura de piso a piso cumpla con los requisitos reglamentarios.

- Asegurar el tamaño de los módulos, permite el transporte desde la fábrica al sitio de construcción.
- Cumplir con los requisitos reglamentarios de altura piso-cielo, dejando el espacio requerido para el cielo falso, si es que lo hubiera, el que podrá contener las instalaciones mecánicas, eléctricas y sanitarias.
- Considerar la posibilidad que el módulo requiera un piso falso para albergar instalaciones y como este se coordina con la estructura existente y las alturas requeridas.
- Asegurar que las tolerancias son las adecuadas.
- Verificar cómo el módulo o componente se anclará a la estructura.

3.1.8 Consideraciones dimensionales en diseño

En los casos en que los módulos y componentes se inserten en una construcción que fue desarrollada in situ, se debe considerar que esta puede presentar una planeidad deficiente y afectar la nivelación del módulo. El diseñador debe solicitar a la constructora que se ponga especial cuidado en la ejecución de losas y elementos estructurales que van a albergar o soportar los módulos y componentes, haciendo hincapié en que deben respetarse las tolerancias máximas descritas en las especificaciones técnicas.

Dentro de las consideraciones de este ítem se encuentran:

- La posible desnivelación de losas, radieres, muros y cielos que podrían incidir en las juntas entre módulos volumétricos y entre módulos volumétricos o componentes panelizados y la estructura.
- Considerar los detalles de la unión entre los módulos volumétricos o componentes panelizados y la construcción in situ.
- Considerar y permitir tolerancias constructivas en las entre las juntas horizontales y verticales de los módulos volumétricos y la parte in-situ.

3.2 Factores estructurales a considerar en el diseño de los módulos volumétricos o componentes panelizados

El peso de los componentes y módulos volumétricos prefabricados debe ser considerado en el diseño y análisis estructural del proyecto. Otros factores como la resistencia estructural de la plataforma receptora y el diseño de los dispositivos de elevación para facilitar la instalación también deberán tenerse en cuenta durante la fase de diseño previa a la fabricación.

Además del diseño bajo las acciones de carga permanente y definitiva, es necesario llevar a cabo un análisis estructural de la situación transitoria del diseño (por ejemplo, durante la manipulación en la planta de fabricación o durante el trayecto que realiza el módulo volumétrico o componente desde la fábrica a la obra) teniendo en cuenta los puntos designados para el izaje y el montaje. Durante el diseño de la estructura del módulo o componentes panelizados se debe considerar los esfuerzos a los que puede ser sometida la estructura durante la manipulación y el transporte.

Los puntos de izaje deben estar situados estratégicamente de forma que se pueda desarrollar un anclaje de unión suficiente para elevar todo el módulo de forma segura y que la distribución de la carga a todos los puntos de elevación sea razonablemente uniforme.

Aun así, se debe considerar que la manipulación de los módulos volumétricos o componentes panelizados es inevitable, por lo tanto, se recomienda especificar materiales que tengan un comportamiento acorde a los esfuerzos durante la construcción a los que podrían ser sometidos.

3.3 Diseño de Especialidades

Una de las principales consideraciones que se deben tener al momento de diseñar un módulo volumétrico o componente prefabricado es determinar la ubicación y el trazado de las instalaciones de estos que interactúan con otros componentes o elementos construidos tradicionalmente in-situ.

La accesibilidad a las instalaciones dentro de los módulos para su posterior conexión y mantenimiento debe tenerse en cuenta en el diseño de los módulos. La secuencia de fabricación y la integración con los trabajos arquitectónicos y estructurales dentro del módulo también es crítica para el proceso de fabricación.

La coordinación con las estructuras que reciben los módulos volumétricos y componentes panelizados y la detección de interferencias pueden llevarse a cabo de forma eficaz con BIM, transformándose en una metodología esencial para garantizar que las instalaciones insertas en los componentes panelizados y módulos volumétricos puedan ejecutarse correctamente durante la fabricación y conectarse sin contratiempos en el posterior montaje in-situ.

Según Lu & Korman (2009)²⁸, el proceso de coordinación mecánica, eléctrica y sanitaria puede mejorarse significativamente con la adopción de BIM, ya que cambia la forma en que los diseñadores, proyectistas y contratistas interactúan entre sí. Esto también es apoyado por Goh & Loosemore, (2017) quienes sugirieron que el apalancamiento en BIM puede mejorar la coordinación y permitir que las partes interesadas en el proyecto entiendan mejor la geometría de los módulos antes de la fabricación.

3.3.1 Resumen de Especialidades

Las especialidades que deberán trabajar coordinadamente serán al menos las siguientes:

1. Arquitectura
2. Cálculo
3. Instalación eléctrica
4. Iluminación
5. Climatización
6. Proyecto sanitario

²⁸ Lu, N., & Korman, T. M. (2009). Opportunities for advancement of modular construction projects using Building Information Modeling (BIM). Proceedings of the 46th Associated Schools of Construction Annual Conference, 1, 1-7. [https://doi.org/10.1061/41109\(373\)114](https://doi.org/10.1061/41109(373)114)

7. Aguas lluvias
8. Riego
9. Insonorización
10. Sistema control centralizado y automatización
11. Transporte vertical
12. Residuos sólidos
13. Gases clínicos
14. Extinción y detección de incendios

3.4 BIM para DfMA

En respuesta a las barreras actuales en la industria de prefabricación, BIM se ha presentado como una de las alternativas para la mejora de la productividad. En particular, BIM ha sido reconocida como una solución potencial para lograr una integración de información eficiente entre las ubicaciones de trabajo de construcción y fabricación. La razón es que BIM es un sistema de gestión de la información que integra y gestiona información de construcción a lo largo de todo el proyecto de construcción y ciclo de vida del producto basado en un diseño 3D paramétrico para facilitar la comunicación efectiva entre los interesados del proyecto (Kim 2014)²⁹

Una forma de gestionar eficazmente el enfoque de la DfMA es mediante el uso del modelado de la información de la construcción. Con BIM, se vincularán de manera más amplia a las actividades previas (por ejemplo, reuniones informativas, evaluación de opciones y diseño de conceptos). Esto mejorará en gran medida la comprensión común del proyecto por parte de todas las partes interesadas. (The Building and Construction Authority, 2016)³⁰

Utilizando BIM, también se pueden desarrollar modelos digitales de los componentes DfMA y sus conexiones con el objetivo de racionalizar los procesos de fabricación y montaje de estos componentes. Con el tiempo, el conocimiento adquirido al adoptar un enfoque DfMA puede integrarse en un conjunto de modelos estructurados ricos en datos de elementos estandarizados, componentes prefabricados u otros para que los utilice la industria. Esto acelerará la adopción del enfoque sistemático de la DfMA. (The Building and Construction Authority, 2016)³¹

3.4.1 Beneficios de adoptar BIM para DfMA

Una de las principales características de DfMA es su enfoque de modularización y estandarización basado en componentes. DfMA también requiere planificar, adaptar y optimizar el diseño en una fase temprana para facilitar la fabricación de componentes o módulos fuera del emplazamiento y, posteriormente, el montaje in-situ. Por lo tanto, el uso de BIM como una herramienta orientada a

²⁹ Kim KP. 2014. Marco conceptual de modelización de la información de construcción para la rehabilitación integral basada en LCC y LCA [PhD thesis]. Aston University, Reino Unido)

³⁰ The Building and Construction Authority. (2016). BIM for DfMA (Design for Manufacturing and Assembly) Essential Guide.

³¹ The Building and Construction Authority. (2016). BIM for DfMA (Design for Manufacturing and Assembly) Essential Guide.

objetos y como un entorno de colaboración integrado, proporciona beneficios potenciales cuando se aprovecha para impulsar el proceso DfMA.

Según la *BIM Essential Guide - Design for Manufacturing and Assembly* (The Building and Construction Authority 2017) entre los beneficios potenciales de la utilización de BIM para optimizar los diseños y el proceso de fabricación externa y montaje in-situ se puede encontrar:

- Mejora la eficacia de la documentación de diseño reduciendo errores durante la construcción.
- Reducción de costos ya que al usar BIM para lograr procesos de diseño y fabricación más eficientes se puede ayudar a reducir costos y por ende gastos del proyecto.
- El diseño de componentes DfMA utilizar BIM puede reducir el tiempo de ensamblaje en el sitio y la programación general del proyecto al traslapar las actividades que se realizan en fábrica con las que se realizan en el sitio de la construcción.
- Mejora de la seguridad en la obra, ya que diseñar en BIM y hacer el testeado de estos diseños de forma virtual podría asegurar el montaje y mantenimiento seguros y su fabricación en entornos de fábrica controlados puede dar lugar a menos incidentes de seguridad.
- Reducción de residuos, ya que la identificación y el uso más eficiente de los materiales en los diseños de los componentes en los modelos BIM pueden reducir los residuos que son generados típicamente en un proceso in-situ.
- Mayor productividad, ya que la integración de los modelos BIM a la fabricación en el entorno de la fábrica puede reducir la mano de obra requerida y mejorar la productividad.
- Mejora en la calidad, ya que el uso de modelos BIM reduce el trabajo rehecho por concepto de errores no detectados durante el diseño y garantiza una mejor calidad de los trabajos.
- Facilita la coordinación técnica y la integración en el ensamblaje externo de piezas y en la obra.
- Facilita la planificación, secuenciación y gestión de la construcción in-situ, especialmente en integración y coordinación de los trabajos.
- Facilita la cuantificación de las piezas/materiales de construcción y, por lo tanto, el análisis de costos.

Durante la etapa inicial de diseño, la estrategia de diseño debe ser desarrollada incorporando el uso de BIM para facilitar el proceso.

En la fase inicial del diseño conceptual, los elementos pueden identificarse y representarse en el modelo BIM mediante objetos "genéricos" ricos en datos, pero tienen una geometría limitada. Estos datos pueden ser utilizados para generar rápidamente información sobre los costos estimados, tamaños, requerimientos, etc. BIM permite probar escenarios y opciones para optimizar el proyecto. Estos modelos también podrían utilizarse para comunicar el diseño a todos los actores involucrados.

A medida que se desarrolla el diseño conceptual, los componentes que conforman el “prototipo” pueden irse detallando según la necesidad de avance. La participación temprana de los contratistas y el compromiso de la cadena de suministro en esta etapa pueden ayudar a validar los diseños conceptuales que se están evaluando.

A lo largo de la etapa de diseño de detalle, los modelos pueden ser desarrollados con niveles crecientes de desarrollo en términos de geometría y datos. A medida que se comprenden mejor los componentes, es posible una mayor validación del diseño detallado en comparación con el diseño conceptual mejorando la certidumbre de las partes interesadas para ayudar en el proceso de toma de decisiones.

En la etapa de pre-construcción, la construcción virtual y los ejercicios de prototipado podrían llevarse a cabo utilizando los modelos digitales. Los resultados del prototipado virtual se pueden utilizar para llevar a cabo el prototipado en el mundo real, incluyendo la formación de los operadores, para perfeccionar el enfoque de la construcción, probar la viabilidad y maximizar la eficiencia en el sitio. Esto puede tener lugar en un entorno seguro y controlado y puede utilizarse para planificar todos los aspectos de la fabricación, la logística y el montaje mucho antes de que se inicien los trabajos in-situ.

Durante la etapa de construcción, los datos que se introducen en el modelo BIM pueden utilizarse para gestionar el ordenamiento de los componentes y la logística del proceso de montaje en obra para minimizar el riesgo de retrasos.

EL uso de Prototipos Virtuales proporciona una plataforma de colaboración para todos los participantes y grupos de interés, incluyendo arquitectos, ingenieros estructurales, ingenieros MEP, propietarios, contratistas y usuarios finales. Todos estos participantes pueden utilizar la tecnología de un prototipo virtual para llevar a cabo y actualizar el diseño en tiempo real en un modelo principal virtual. El uso de prototipos virtuales también puede ser beneficioso en la etapa de coordinación del diseño para reducir los problemas de transporte. Los prototipos virtuales de componentes prefabricados se pueden colocar en vehículos y también se pueden transportar a la obra en un entorno virtual para comprobar la viabilidad de las dimensiones y formas de los componentes para el transporte. (Sharma S., Sawhney A., Arif M., 2017).

Todas las partes involucradas pueden identificar los problemas que surgen durante el proceso y resolverlos lo antes posible utilizando una plataforma virtual antes del proceso de construcción real para asegurar un progreso eficiente de la construcción.



4 CAPÍTULO 4: FASE DE FABRICACIÓN

En esta sección se abordan las consideraciones para diseñar un proceso de fabricación industrializado, planificar la producción, realizar un control proactivo y asegurar el cumplimiento del mandato del cliente. Esta sección parte de la base de que previamente se ha realizado un proceso de diseño del proyecto considerando el objetivo de industrialización, el proveedor ha participado tempranamente en la etapa de diseño, se ha llevado a cabo un proceso de conceptualización y desarrollo del producto de acuerdo a los criterios de diseño para la manufactura y montaje, y se han generado insumos acordes a los requerimientos para garantizar un proceso exitoso de incorporación de elementos industrializados.

4.1 Bases de la fabricación industrializada

La industrialización de elementos de construcción requiere de la producción fuera del sitio de trabajo, aprovechando las capacidades de manufactura en planta. Un proceso industrializado debe ser: poco variable, de alta capacidad, con bajos tiempos de ciclo alto nivel de estandarización. Por ende, no es equivalente a la pre-fabricación off-site. De hecho, la principal diferencia entre la pre-fabricación y construcción industrializada es la conceptualización de la producción. El objetivo de pre-fabricar es aislar una partida de su entorno, permitiendo que ésta pueda ejecutarse sin las restricciones que ésta tendría in-situ, lo cual permite, muchas veces, adelantar la partida. La producción industrializada, en cambio, busca aprovechar capacidades que no estarían disponibles en terreno y que maximizan la productividad del proceso, como, por ejemplo, utilizar moldes precisos para la producción de elementos y tecnologías que aumenten la precisión de las obras. Por ello, los objetivos de la pre-fabricación industrializada son:

- Disminuir al máximo la cantidad de operaciones requeridas en obra.
- Aumentar la constructabilidad del elemento.
- Mejorar el cumplimiento de tolerancias y niveles de calidad.
- Disminuir costos operacionales de la producción, montaje y conexión del elemento.

Por ejemplo, en la construcción de módulos de tabiquería industrializados, los cortes de material pueden realizarse con máquinas precisas, las operaciones de montaje pueden realizarse en paralelo, por medio de la división en sub-elementos, y los módulos pueden pasar por estaciones de trabajo contiguas. En cambio, al producirlos in-situ, se cortan los materiales con herramientas manuales, las operaciones requieren realizarse en serie y muchas de éstas se realizan en lugares distintos, que generan latencias producto de esperas y traslados de material. Lo anterior, se traduce en ahorros de tiempo, recursos y aumento de la productividad. A modo de ejemplo, los baños industrializados utilizados de forma cada vez más frecuente en obras residenciales, pueden producirse en masa e instalarse en horas por cuadrillas de 2 a 4 personas, mientras que un baño ejecutado de forma tradicional tiene más de 20 partidas, que son ejecutadas por más de 12 tipos de trabajadores distintos, en ritmos de producción 3 o 4 veces más lentos.

4.2 Tipos de fabricación industrializada

Existen tres formas de producción industrializada. El nivel más básico es el desarrollo de módulos replicables, los cuales se pueden combinar en diversas formas. Los módulos pueden ser terminados, como por ejemplo un panel terminado de muro, semi-terminados, como un módulo base de tabique, o elementales, como un módulo de soporte estructural para tabiques. El segundo nivel corresponde a la solución pre-montada. En este nivel, los módulos son pre-montados para conformar secciones de un recinto, disminuyendo así el número de componentes y operaciones en terreno. Por último, está el mayor nivel de prefabricación, denominado Off the Shelf, en el cual, el elemento está terminado y se entrega listo para instalar y usar. A continuación, se presentan los diferentes niveles de prefabricación industrializada:

Pre-fabricación off the Shell: El producto se entrega listo para conectarse en obra y utilizarse. Los baños prefabricados de uso residencial son un ejemplo de éstos, los cuales se entregan embalados y previamente recepcionados por calidad. Minimiza las operaciones y consumo de recursos en la fase de montaje, además de maximizar la calidad y precisión de la producción, aunque eleva el costo directo del producto, crea restricciones para la secuencia constructiva del proyecto y sólo es posible si la logística del elemento es práctica y compatible con el programa de obra. Por ende, es útil si se obtienen ritmos significativamente mayores de obra, en elementos replicados múltiples veces a lo largo del proyecto, estandarizados y de complejidad media. Algunos de los elementos industrializados más comunes de este tipo son: Aseos, baños, bodegas, módulos comerciales, muebles y módulos de trabajo, entre otros.

Producción y pre-montaje: El elemento se entrega semi-terminado, con sistemas de conexión que facilitan su anclaje, no obstante, como un set de secciones pre-montadas o bien como un set presentado, listo para montar. Las soluciones volumétricas de superficies superiores a 4 m² aprovechan mucho las opciones de pre-montaje, en particular, los sistemas de anclaje abatibles. Es útil para elementos cuyas dimensiones no permiten entregarlos completamente armados o cuando es necesario replicar múltiples veces elementos volumétricos continuos. Requiere más operaciones para su instalación en obra, pero éstas son altamente estandarizadas, por lo que, en general, no aumentan los recursos productivos requeridos. Su costo directo es intermedio entre los productos Off the Shelf y los módulos base. Se utilizan mucho para elementos como núcleos de instalaciones, recintos de mayor tamaño, estaciones repetitivas, entre otros. Un sistema práctico de producción pre-montada es el desarrollo de secciones de recintos compuestas de pisos conectados a muros abatidos, que luego son erigidos en obra. Un ejemplo de esto, son los boxes prefabricados, donde todos sus muros están listos para conectarse.

Pre-fabricación modular base: Se fabrican módulos base, no ensamblados, que son despachados a obra en kits, consistentes en los elementos de una sección o recinto, que deben ser armados, ensamblados y conectados a la obra in-situ. Es útil para elementos utilizados continuamente para conformar distintos patrones o morfologías, pero que son compuestos de un módulo base estándar. Por ejemplo, en obras de edificación es posible modularizar las ventanas, tabiques, núcleos de instalaciones lineales, envolventes, entre otros. El costo de los módulos es competitivo con el costo directo de las soluciones tradicionales y su productividad es mayor, por lo que su costo de construcción es atractivo frente a las soluciones tradicionales. En general, es preferible a los otros sistemas de industrialización cuando un mismo módulo puede ser utilizado para configurar distintos elementos o cuando una partida es realizada de forma constante. La principal ventaja con respecto a los sistemas anteriores, es que debido a que su grado de prefabricación es menor, sus ciclos de producción y despacho pueden ser más cortos. Finalmente, al trabajar con elementos modulares, una buena recomendación utilizar la técnica de pre-fabricación y pre-montaje off-site, que implica armar en un taller de obra y luego conectar en terreno.

A continuación, la Tabla 10 presenta con ejemplos de elecciones de niveles de industrialización objetivo para diferentes elementos de proyectos de salud. En esta se puede apreciar que elementos de gran volumen tienden a industrializarse por medio de elementos modulares, mientras que elementos pequeños altamente repetitivos son pre-montados y si éstos tienen siempre configuraciones estándar, es útil comprarlos Off the Shelf.

Tabla 10. Ejemplo de elección de nivel de industrialización

Tipo de elemento	Dimensiones (Superficie, peso y/o geometría)	Estandarización (N° Configuraciones existentes)	Nivel de industrialización recomendado	Ejemplos
Unitario	Grandes	Alta	Off the Shelf	Tableros eléctricos
		Baja	Modular	Paneles de instrumentos
	Pequeños	Alta	Off the Shelf	Tableros a camas UCI
		Baja	Modular	Placas de enchufes
Lineal	Grandes	Alta	Pre-montado	Núcleos de instalaciones
		Baja	Modular	Estanterías
	Pequeños	Alta	Off the Shelf	Líneas de vida
		Baja	Modular	Luminarias pasillos
Panelizado	Grandes	Alta	Modular	Tabiques técnicos UCI
		Baja	Modular	Tabiques baja complejidad
	Pequeños	Alta	Modular	Módulos de cielo quirófanos
		Baja	Modular	Módulos de cielo
Volumétrico	Grandes	Alta	Pre-montado	Módulos de oficinas
		Baja	Modular	Estaciones de enfermería
	Pequeños	Alta	Off the Shelf	Baños acceso universal
		Baja	Modular	Módulos comerciales

4.3 Condiciones para la producción industrializada de un elemento

La selección del tipo de producción depende fundamentalmente de las características del elemento objetivo. Corresponden a: replicabilidad, flexibilidad, compatibilidad y complejidad. Son interdependientes y se ven afectadas principalmente por las decisiones de la etapa de diseño. Además, todas se benefician del proceso de diseño para el montaje y manufactura. Algunas características como la flexibilidad y complejidad de las soluciones pueden cambiar drásticamente con las decisiones de diseño, mientras que la replicabilidad y compatibilidad de los elementos están principalmente determinadas por el alcance del proyecto, por lo que tienen menor grado de movilidad. A continuación, se abordan las características mencionadas:

Replicabilidad: Corresponde a la tasa de uso de un elemento dentro del proyecto. Para evaluarla, se debe analizar la cantidad de elementos existentes y su tasa de instalación. Un elemento con alta replicabilidad se repite muchas veces en el proyecto y es instalado constantemente en diferentes zonas. No obstante, también existen elementos con alta replicabilidad que se repiten mucho, pero se instalan en un margen de tiempo acotado, y elementos que no se replican muchas veces en el proyecto pero que están siendo montados a lo largo de largos períodos, de forma repetida. En general, mientras mayor es la replicabilidad, mayores son los beneficios de la producción industrializada ya que se alcanzan economías de escala y mayor productividad en la obra.

Compatibilidad: Tiene relación con las bondades de un elemento para conectarse e interactuar con otros. Depende de aspectos como el número y tipo de conexiones, las restricciones para conjugar el elemento con la obra existente y las restricciones que la fabricación off-site pueda incorporar al programa y secuencia constructiva. Sistemas con muchas conexiones a la obra existente pueden ser poco compatibles ya que requieren precisión en las instalaciones ejecutadas en obra. En general, la complejidad no es una característica estática de un elemento, sino que evoluciona junto con el diseño y se simplifica por medio del diseño para la manufactura y montaje.

Flexibilidad: La flexibilidad tiene estrecha relación con el diseño y las características del proyecto. Un proyecto flexible implica que la obra existente soporta distintas configuraciones de un elemento y genera un espacio flexible para el desarrollo de soluciones industrializadas. Una solución flexible es adaptable a distintas configuraciones del proyecto, por lo que genera menores restricciones a la obra y programa. La flexibilidad es resultado del proceso de diseño, por ello, es necesario que éste se conceptualice considerando la inclusión de elementos industrializados.

Complejidad: Tiene relación con el número de partes y componentes, precisión requerida de las obras y nivel de especialización de la solución, entre otros. En general, los sistemas más complejos se benefician más de la producción industrializada, aunque la complejidad puede resultar en incompatibilidad con la producción off-site. Está supeditada al alcance del proyecto, pero puede disminuirse significativamente por medio de la estandarización y modularización.

A continuación, la Tabla 11 presenta ejemplos del análisis de distintos elementos, por medio de las características mencionadas, para determinar el tipo de industrialización más apto para las soluciones.

Tabla 11. Ejemplo para evaluar tipo de industrialización

Elemento	Tipo	Replicabilidad	Complejidad	Compatibilidad	Flexibilidad	Decisión
Módulos comerciales Módulos de counters Estaciones de trabajo	Volumétrico estandarizable	Alta	Baja	Alta	Alta	Módulos estandarizados conectables
Baños acceso universal	Volumétrico estandarizable	Alta	Media	Media	Media	Módulo tipo Off the Shelf
Módulos de enfermería en salas de hospitalización	Volumétrico estandarizable	Alta	Baja	Alta	Media	Módulo pre-montado
Quirófano	Volumétrico estandarizado	Media	Alta	Media	Baja	Kits de módulos estándar
Salas de paciente crítico	Volumétrico semiestándar	Alta	Alta	Media	Media	Kits de módulos estándar pre-montados
Tabique técnico	Bidimensional estandarizable	Media	Media	Media	Baja	Módulo estándar pre-montado
Tabique muro	Bidimensional estandarizable	Alta	Baja	Alta	Alta	Tabiques modulares
Fachada envolvente	Bi-dimensional estandarizable	Alta	Media	Media	Media	Módulos estándar

4.4 Requerimientos para la fase de fabricación

Los requerimientos de esta fase corresponden a los insumos que el fabricante requiere para diseñar, planificar, ejecutar y controlar el proceso de producción, de acuerdo con el mandato del cliente. Los insumos requeridos en esta sección son la entrega de una orden de compra de los elementos, la planificación de fases del proyecto, los planos y especificaciones de diseño de los elementos, así como las condiciones de calidad en la producción y entrega.

4.4.1 Orden de compra

Debe contener un itemizado de los elementos a ser producidos y entregados al cliente, indicando los plazos de producción, puesta de órdenes de despacho y cantidades de despacho. Debido a que la producción de elementos industrializados se basa en que éstos sean puestos en obra justo a tiempo, minimizando inventarios y requerimientos logísticos, ésta debe estar ajustada al plan de producción (fabricante), plan de montaje (contratista) y plan de recepción (inspección técnica y cliente). Para ello, es fundamental que los actores participen tempranamente en la planificación y que la orden se ajuste a los programas de obra. Debe contener al menos la siguiente información:

- Itemizado completo de los elementos solicitados, indicando claramente la cubicación de elementos por tipo y sección de la obra.
- Itemizado de las entregas a obra de los elementos, indicando sección a la que corresponden y los plazos de recepción.
- Programación detallada de los despachos a obra, que incluya número de elementos, por tipo, a ser entregados en cada despacho.

4.4.2 Planificación de fases

Debe especificar la secuencia constructiva, plazos de entrega de las secciones en las cuales se incorporarán los elementos, plazos requeridos para la entrega al cliente y bases para la

programación de la fabricación y despacho. La participación temprana del fabricante en la planificación de fases permitirá que éste cruce los requerimientos de la obra con sus capacidades de producción y características de los productos. La planificación de fases entregada al proveedor deberá corresponder a un cronograma de la entrega de las secciones del proyecto en las cuales se incorporarán los elementos, las ubicaciones de los elementos que deben ser entregados a obra para cumplir con las especificaciones del proyecto en cada sección y el momento en que deben ser recibidos en obra. A continuación, la Tabla 12 presenta un ejemplo del insumo requerido:

Tabla 12. Ejemplo de plan de fases

Plan de fases para la partida de baños modulares de acceso universal						
Nivel	Sector	Recinto	Itemizado elementos	Fecha entrega recinto	Fecha requerida de recepción elementos	Fecha requerida de habilitación
1°	1°A	Sala de espera urgencias	3 x BM-A	01-04-2019	28-03-2019	15-05-2019
		Sala de box urgencias	6 x BM-B		07-04-2019	
		Sala de descanso staff	2 x BM-A		28-04-2019	
	1°B	Sala de espera	3 x BM-A	15-05-2019	05-05-2019	15-06-2019
		box de consultas	8 x BM-B		15-05-2019	
		box proced. ambulatorios	8 x BM-A		25-05-2019	
		Estación de enfermería	2 x BM-A		10-06-2019	

4.4.3 Planos de obra

En la construcción industrializada, el proveedor requiere estar en conocimiento no sólo de qué elementos debe proveer, cuántos y cuándo, sino también, del procedimiento presupuestado para su montaje, instalación y conexión, los elementos de obra que rodean o interactúan con el elemento, así como las características del espacio en el cual está inmerso. Los planos de detalle permitirán que el proveedor pueda identificar interferencias, complejidades para el montaje, requerimientos adicionales para la recepción de las partidas previas o mejoras a los procedimientos de montaje y conexión. Por ello, se recomienda que se lleven a cabo sesiones tempranas con el proveedor, de revisión del proyecto y análisis del proceso constructivo. Esto requiere, que el fabricante participe junto al contratista y especialidades, del proceso de diseño de detalle. Así mismo, es recomendable que antes de poner la orden de compra, se haya revisado la factibilidad técnica de las soluciones y el diseño de detalle de los elementos. El proveedor industrializado muchas veces participa como una especialidad adicional en el proceso de diseño.

4.4.4 Especificaciones del producto

Son el insumo clave para diseñar y programar el proceso productivo, asegurando la calidad de los elementos entregados al cliente. Deberán incluir: Planos de detalle del elemento, detalle de las conexiones, itemizados de componentes, especificación de las terminaciones y requerimientos especiales de la solución. En el caso de productos *Off the Shelf*, es importante considerar la facilidad de la conexión de las instalaciones, lo que muchas veces implica requerimientos especiales como, por ejemplo, el desarrollo de núcleos de instalaciones y el diseño de elementos

pre-fabricados con todas sus instalaciones en toma vertical, de manera de conectarlos fácilmente al núcleo por medio de pisos técnicos o tomas de instalaciones sobre cielo falso.

Otro aspecto clave de la especificación del producto es la definición de las tolerancias. Los elementos industrializados están generalmente inmersos en la obra gruesa, anclados por medio de fijaciones previamente instaladas y conectados a diversas instalaciones ejecutadas previamente, que dejan las tomas libres para la conexión. Elementos como los tabiques técnicos o baños modulares pueden tener fácilmente 10 a 20 instalaciones distintas, por lo que, si no se definen tempranamente las tolerancias y resuelven las conexiones, es probable que errores de calidad en la obra gruesa o en la producción del elemento afecten la correcta instalación.

Según el método DfMA, los elementos se diseñan por tolerancias en vez de especificaciones fijas, lo que permite asegurar que el elemento será compatible con la solución y deja un margen para que el proveedor pueda desarrollar el proceso productivo que más le acomode. Por ejemplo, "las tomas de corriente deberán estar emplazadas a media altura, en la sección del tercio inferior de una persona, ubicados entre 40 a 80 cm sobre el nivel de piso". Esto permite que el proveedor analice el diseño y determine qué altura le permite minimizar insumos o facilitar el proceso. La precisión de las tolerancias depende de la flexibilidad del diseño y complejidad de las conexiones. Una técnica muy utilizada es el desarrollo de moldes o prototipos, previo al inicio de la producción. Los prototipos son validados con el cliente y probados en obra para asegurar la compatibilidad con el proyecto. Las pruebas determinan las tolerancias y el prototipo es usado para desarrollar un molde de producción base para el resto de los insumos. El molde es validado por medio de la producción de un segundo elemento y su comparación con el prototipo. Si se cumplen los parámetros de producción, el molde es replicado e incorporado a la fase de producción.

4.4.5 Especificaciones de calidad

En el desarrollo de elementos industrializados, la calidad es medida en 4 instancias: En planta, en la entrega, en el montaje y en la recepción. Según la definición contractual de en qué etapa será medida la calidad, el proveedor podrá tomar decisiones como externalizar o interiorizar los procesos de logística y montaje. Aun así, el carácter integrado de las relaciones contractuales de diseño, fabricación, montaje y recepción, deberá incentivar que el proveedor participe activamente del aseguramiento de la calidad en todo el proceso, por medio del establecimiento de instancias colaborativas de desarrollo y revisión de los planes de calidad. Los estándares de calidad deben ser operacionalizados por medio de listas de chequeo orientadas a las distintas etapas del proceso. Éstas deberán contener condiciones previas, itemizados de revisión e itemizados de prácticas que deberán efectuarse para asegurar que los elementos son producidos, manipulados, montados y recibidos de forma correcta. Se recomienda que las listas de chequeo incluyan apoyos visuales y diagramas de los elementos, para facilitar la revisión.

Es importante que se defina quién es el responsable de auditar la calidad en cada etapa y que existan instancias de revisiones cruzadas. Por ejemplo, para la recepción de productos *Off the Shelf*, una buena práctica es que el cliente revise la calidad de los productos previo al despacho y que el proveedor se cerciore de que el operador ha tomado en cuenta todas las condiciones requeridas para la correcta manipulación, transporte y entrega en obra de los elementos. La revisión en la entrega permitirá, además, disminuir tiempos de latencia en la reposición o arreglo de los elementos en caso de detecciones de hallazgos.

4.5 Actividades y decisiones del proceso de fabricación

El proceso de fabricación de un elemento industrializado considera: el diseño del proceso, la programación de producción, la manufactura de las soluciones y el control de la cadena de ensamblaje. El diseño del proceso puede dividirse en el diseño de la secuencia productiva y línea de producción. La programación puede dividirse en planificación de largo, mediano y corto plazo. Las etapas más importantes de la manufactura son la fabricación de componentes (o preparación), el montaje de componentes y la preparación del producto para su logística. En general, el control se ejecuta antes y después de cada partida, por medio de KPIs de producción, métodos de control de flujo y sistemas de aseguramiento de calidad.

4.5.1 Diseño del proceso de fabricación

El diseño del proceso parte inmediatamente después que se ha conceptualizado el elemento industrializado, como un ensamblaje de sub-componentes, en la etapa de diseño de producto. De acuerdo al método de diseño para la manufactura y montaje, el diseño del proceso productivo comienza a ejecutarse en paralelo al diseño de detalle de los ensamblajes del elemento, validándose la compatibilidad entre sistemas de ensamblaje y proceso productivo por medio del desarrollo de prototipos incrementales de las soluciones.

Su inicio, de acuerdo con el método de diseño para la manufactura y montaje, requiere de las siguientes condiciones:

- Que se haya producido un prototipo de validación de la solución o molde
- Que se haya definido el itemizado de componentes y ensamblajes del producto
- Que se hayan definido las tolerancias de acuerdo al molde y/o prototipo

4.5.1.1 Diseño de la secuencia

Implica determinar los pasos de producción de componentes y ensamblajes del producto, siguiendo un orden de montaje que asegure una terminación incremental del producto que facilite su completitud de acuerdo con las condiciones de calidad requeridas del proceso. Por esto último, deben considerarse las opciones de secuencia que faciliten la manipulación de los componentes o el producto, su paso por la cadena productiva, la revisión y el trabajo directo en el producto.

El diseño de la secuencia permite determinar la cadena de producción, que puede ser integrada, semi-integrada o desintegrada. El grado de integración tiene que ver con la conexión secuencial entre los pasos de producción de un elemento. Las cadenas integradas son aquellas en las cuales todos los pasos del proceso están vinculados por alguna restricción de secuencialidad, como, por ejemplo, en la producción de paneles pre-formados de poliestireno expandido, donde se arma la estructura soportante, incorporan los paneles interiores, se anclan las instalaciones y se ensamblan las tapas de cubierta del panel.

En cambio, una cadena desintegrada es aquella donde una solución puede producirse como dos o más sub-componentes separados, que se integran al final. Por ejemplo, un tabique técnico con línea de vida, donde el panel de conexiones a cama se produzca de manera desintegrada de las canaletas con línea de vida y del módulo de tabique soportante, para luego ensamblarse al final. Por último, las cadenas semi-integradas son aquellas en las que los sub-componentes de un

producto pueden fabricarse por separado hasta cierto punto, pero luego deben montarse a un componente principal para continuar terminándolo, como las partes de un auto que se van montando al chasis.

Las cadenas integradas son más fáciles de controlar y nivelar, ya que se pueden regular los ritmos de trabajo, procedimientos y controles de calidad de cada actividad secuencial, además de requerir pocas instancias de control de calidad entre los ciclos. No obstante, tienden a ser más lentas y sujetas al “efecto látigo”, que es el aumento exponencial de las variaciones en las tasas de producción, debido al efecto conjunto de la variabilidad de muchas actividades conectadas secuencialmente. Las cadenas desintegradas o semi-integradas, en cambio, son más rápidas ya que pueden ejecutar procesos en paralelo, permiten optimizar más los procesos de montaje de los sub-componentes terminados y sus tasas de producción son menos variables. No obstante, requieren más recursos de producción, facilitan la generación de mayores inventarios de productos en proceso y son más complicadas de controlar, debido a que las cadenas paralelas pueden tener ritmos de producción y tasas de variabilidad muy distintas, que desbalancean la producción.

En muchos casos, los pasos de un proceso podrán conceptualizarse tanto como cadenas integradas, semi-integradas o desintegradas. El fabricante deberá evaluar qué aspecto es más prioritario, si la tasa de producción o el costo de producción y tomar la decisión de acuerdo a la complejidad y los beneficios que identifica en cada tipo de estructuración secuencial. Si opta por desintegrar la cadena, deberá poner énfasis en nivelar los flujos de producción de los procesos ejecutados en paralelo, para minimizar inventarios y cuellos de botella. Por el contrario, si opta por desarrollar una cadena integrada, el énfasis deberá estar en controlar la variabilidad de los procesos para disminuir el efecto látigo. A continuación, la Tabla 13 presenta una guía de consideraciones genéricas y recomendaciones para diseñar la cadena de producción:

Tabla 13. Consideraciones genéricas para diseño de cadena de producción

Cadena de producción	Método	Aplicaciones	Ventajas	Consideraciones	Recomendaciones
Integrada	Fabricación en una única secuencia de producción	Para elementos que son producidos en serie, como paneles pre-formados modulares, donde se pueden alcanzar flujos continuos de producción.	Disminuye el total de recursos requeridos y la cantidad de controles de calidad necesarios, además, facilita controlar los flujos de materiales y producto	La variabilidad del proceso aumenta exponencialmente al aumentar el número de etapas	Incorporar mecanismos eficaces de control de los tiempos de flujo del producto de una etapa a la siguiente, buscando estabilizar ritmos
Semi-integrada	Fabricación de sub-componentes que van incorporándose a un componente central	Para elementos complejos como módulos volumétricos, donde exista una estructura soportante central, que pueda desintegrarse de los componentes que se ensamblan a ésta	Disminuye las operaciones en productos compuestos de muchas partes y permite que la calidad de los sub-componentes sea controlada antes de ensamblarse	Es necesario tener en cuenta cómo se irán montando los componentes a la solución final, sin generar interferencias	Poner énfasis en el análisis de el orden y método de anclaje de los sub-componentes a la solución central para asegurarse de la factibilidad y facilidad del proceso

Desintegrada	Fabricación en paralelo de sub-componentes que son ensamblados en una etapa final	Para elementos trabajables en módulos independientes conectables, como por ejemplo módulos de panelería para conformar recintos volumétricos	Disminuye los tiempos de producción, separa las actividades minimizando el efecto látigo y cada componente puede ser trabajado y controlado por separado	El desbalance de las líneas genera niveles altos de inventarios de producto en proceso, cuellos de botella en la operación y mayores costos de producción	Analizar detalladamente los tiempos de ciclo, variabilidad y tasas de producción de cada línea independiente para poder balancearlos por medio de métodos de control de flujos y capacidad
--------------	---	--	--	---	--

4.5.1.2 Diseño de la línea de producción

Una vez diseñada la secuencia, la línea de producción debe diseñarse para optimizar la eficiencia de la secuencia productiva. Por ello, las decisiones en esta etapa estarán orientadas a maximizar la capacidad de proceso, reducir la variabilidad y minimizar los recursos de producción necesarios. Las recomendaciones fundamentales para diseñar la línea son:

- Aproveche capacidades productivas de máquinas, líneas de producción y/o capacidades de planta que no estén disponibles en terreno.
- Aproveche las condiciones controladas de la fabricación en planta para disminuir la variabilidad de los procesos.
- Aproveche las escalas de producción de la planta, para disminuir los costos operacionales directos e indirectos de producción.
- Aproveche el uso de tecnología y sistemas productivos eficientes que disminuyan los requerimientos, dependencia y uso extensivo de mano de obra en la fabricación.
- Localice dónde agregará mayor valor el control de calidad, creando puntos de control dentro del proceso.

En consecuencia, para el desarrollo de una línea de fabricación industrializada, se deberá:

- Identificar las partes y componentes del producto que pueden producirse en conjunto, determinando los lotes de producción óptimos para ellos. Se recomienda buscar siempre reducir al máximo posible los tamaños de lote, ya que un mayor tamaño de lote aumenta los tiempos de ciclo entre las entregas y los niveles de inventario de trabajo en proceso. El aumento de los tiempos de ciclo aumenta la variabilidad, causando mayores desviaciones de producción. El aumento de los inventarios aumenta las problemáticas de calidad y los costos de producción.
- Identificar y diseñar las operaciones de producción a realizarse en cada estación de trabajo, buscando que éstas estén estandarizadas para minimizar la variabilidad de los tiempos de ciclo (cada cuánto se entregan lotes de producción a la siguiente etapa). Se recomienda juntar múltiples operaciones en una misma etapa o estación de trabajo, ya que mientras más entregas se produzcan de una estación a otra, mayor será el efecto látigo de la variabilidad de los procesos.
- Identificar y estructurar los procedimientos de producción en cada estación de trabajo, determinando los equipos y tecnologías requeridas, los planes de producción de cada estación

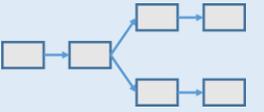
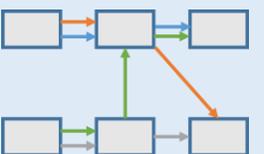
y generando manuales de procedimiento. Es recomendable que se generen itemizados estándar de insumos que deben llegar a cada estación de trabajo, posiciones fijas de los recursos de producción, sectores demarcados para el posicionamiento de los componentes en los que se está trabajando en cada estación y planillas que demarquen dónde se posicionarán los componentes de trabajo antes de enviarlos a la siguiente estación.

- Crear procedimientos de control de partes terminadas en estaciones críticas de trabajo. Se recomienda diseñar sistemas de control visual por medio de diagramas de aceptación y listas de chequeo estándar, permitiendo que se detenga tempranamente el avance de productos defectuosos en la línea de fabricación y montaje.
- Crear mecanismos de control de los flujos de producción estandarizados. Se recomienda desarrollar plantillas Kanban, que contengan itemizados de insumos requeridos en lotes estándar que se despachan de una estación a la anterior al momento de tomar un nuevo lote de insumos para iniciar la producción. Estos sistemas de pedido generan sistemas de producción pull donde sólo se despacha lo que se necesita, disminuyendo inventarios en la entrada de los cuellos de botella.

Los formatos de las líneas de producción son: lineales, convergentes, divergentes o mixtos. Los lineales son los más idóneos para cadenas integradas de producción, mientras que los convergentes son adecuados para cadenas semi-integradas o secuencias de producción de elementos en paralelo que son montados en una etapa final. Los sistemas divergentes y mixtos son utilizados cuando una misma línea puede requerir múltiples diseños de productos, donde los divergentes ordenan más los flujos de producción, focalizándose en el control especializado, mientras que los mixtos otorgan mayor flexibilidad a la planta y menores tiempos de flujo, pero requieren un control muy bien procedimentado. A continuación, la Tabla 14 presenta los distintos layouts posibles de las líneas de producción, consideraciones y recomendaciones para su uso.

Tabla 14. Layouts para líneas de producción

Sistema	Diagrama	Aplicaciones	Ventajas	Consideraciones	Recomendaciones
Lineal		Producción en serie de elementos industrializados modulares, como paneles estandarizados	Simplifica el control y los flujos de producción	Las tasas de producción de estas líneas se ven afectadas fuertemente por la variabilidad de los procesos y el efecto látigo	Estandarizar las operaciones en cada estación y balancear los tiempos de ciclo de cada estación para evitar inventarios, utilizando Kanban.
Convergente		Producción de elementos que se componen de distintos módulos ensamblados, como muebles o recintos compuestos de paneles estándar.	Reduce el tiempo total de producción y el control se realiza al término de la producción de los componentes, previo al ensamblaje.	Los cuellos de botella se producen generalmente al comienzo de las etapas de ensamble, por lo que las tasas de producción de las etapas previas deben supeditarse al cuello de botella.	Optimizar al máximo las etapas de ensamble de componentes por medio del uso de tecnologías y equipamiento especializado.

Divergente		Plantas de producción de un número acotado de opciones disponibles de un mismo elemento, como por ejemplo tabiques con diferentes terminaciones.	Aprovecha la producción en serie para la creación de sub-componentes estándar que pueden ser usados para conformar diferentes elementos.	La producción de componentes en la etapa en serie debe realizarse en el tamaño de lote mínimo factible, evitando que se generen inventarios en una línea divergente y quiebres de stock en la otra.	Aprovechar al máximo la producción en serie, por medio de la estandarización de los componentes base para múltiples diseños.
Mixto		Plantas de producción personalizada de múltiples configuraciones de un elemento tipo, como por ejemplo, recintos base con distintos elementos y artefactos.	Permite mayor customización, siendo útil principalmente para producir lotes de despacho compuestos por múltiples ítems o modelos de elementos.	El control y nivelación de los flujos de producción es más complejo, por lo que es necesario un control de producción exhaustivo.	Buscar que todos los productos pasen por un número similar de estaciones y que éstas tengan tiempos de ciclo similares.

4.5.2 Ejecución y control de la producción

En esta sección se abordan métodos y herramientas para controlar el proceso de producción, velando por el cumplimiento de las órdenes y eficiencia operacional. Se presentan indicadores útiles de control de producción y de control de calidad, así como herramientas que facilitan la gestión de los procesos.

4.5.2.1 Indicadores de control de producción

Tiempo de ciclo – TC: Es el tiempo que tarda la producción de un elemento, desde que se inicia el proceso hasta que el producto sale de la línea listo para ser despachado. Existe un tiempo de ciclo teórico, equivalente al promedio de producción medido en el largo plazo, el cual es utilizado para programar las metas y capacidad de producción de órdenes, y un tiempo de ciclo real, medido diariamente o de forma sistemática, el cual refleja la variabilidad del proceso en un determinado punto. Este es utilizado para programar holguras y buffers de producción.

Throughput – TH: Es la tasa de producción del proceso. El throughput teórico es el tamaño de lote de producción dividido por el tiempo de ciclo, medido como unidades de elementos producidos por unidad de tiempo. El throughput real es la tasa de entrega de productos terminados, medido aguas abajo del ciclo de producción. El control sistemático del throughput permite controlar la variabilidad de la producción y programar buffers para el cumplimiento de las tasas de demanda.

Takt-time – TT: Es el tiempo medio entre el inicio de la producción de una unidad y el inicio de la producción de la siguiente. Se utiliza para determinar el ritmo de producción y para nivelar la tasa de producción a la tasa de demanda. Cuando el proceso está balanceado, el takt-time debería ser equivalente a la tasa de demanda.

Tiempo de producción – TP: Es el tiempo transcurrido desde que un producto ingresa a la estación de trabajo hasta que es despachado a la siguiente. Es utilizado para detectar cuellos de botella, que ocurren cuando una determinada estación aguas abajo tiene un tiempo de producción mayor a una

o más estaciones de trabajo aguas arriba, lo que generará acumulación de inventarios a la entrada de dicha estación.

Work in Progress – WIP: Es el total de productos y sub-componentes que están dentro del proceso productivo en un momento dado. El WIP debería ser equivalente a la tasa de demanda y proporcional al tiempo de ciclo. Si el WIP es mucho mayor a la tasa de demanda, implica que existen inventarios de productos en proceso innecesarios que están provocando pérdidas de eficiencia en la producción. Por otro lado, a menor tiempo de ciclo, el WIP debería disminuir, lo cual se logra disminuyendo el tamaño de los lotes de producción y balanceando los tiempos de producción de las estaciones de trabajo.

Tiempo de Inventario – TI: El tiempo de inventario es el tiempo que pasa el WIP en colas a la entrada de una estación de trabajo o en esperas a la salida de un proceso. Si el tiempo de inventario es alto, implica que existen cuellos de botella que están generando colas o que existen ineficiencias que causan esperas en el proceso. El tiempo de inventario se mide en días de unidades completas.

4.5.2.2 Indicadores de control de calidad

Tasa de defectos por unidad: Mide el número total de defectos detectados por unidad producida. Se calcula como el número total de defectos o problemas de calidad detectados en una unidad de tiempo, dividido por la producción total en dicha unidad de tiempo. Un sistema de producción seis-sigma, por ejemplo, tiene tasas de defectos inferiores a 3,4 defectos por millón de productos. La tasa de defectos contabiliza tanto los defectos de productos terminados, como del trabajo en proceso, independiente de si estos hayan o no sido corregidos de forma temprana. La tasa de defectos medida por unidad a la salida de cada estación del proceso permite identificar dónde incorporar sistemas más precisos o mejores procedimientos.

Tasa de productos defectuosos: Mide el número de productos con al menos un defecto, dividido por el número total de productos que salen de la línea de producción. A diferencia de la tasa de defectos por unidad, mide la probabilidad de encontrar un producto defectuoso en un lote de productos terminados. Esta tasa debería ser considerablemente menor al tamaño de lote para asegurar que los despachos sean preparados sin problemas de calidad. Por ejemplo, una tasa de calidad de producción de 99,9% implica que 1 de cada mil productos tendrá un defecto al término de la producción.

Tasas de defectos por proceso: Mide el número de productos o subproductos defectuosos detectados a la salida de una estación de trabajo. Permite calcular las pérdidas de capacidad y pérdidas de tiempo productivo por defectos.

Pérdidas de capacidad por defectos: Este indicador funciona como un embudo e identifica cuántos productos e insumos deberían ingresar al proceso productivo para obtener un lote completamente correcto, de acuerdo con la tasa de productos defectuosos y las tasas de defectos por unidad. El cálculo se realiza desde aguas abajo hacia aguas arriba, utilizando las tasas de defectos a la salida de cada estación para determinar las pérdidas de capacidad.

Pérdidas de tiempo productivo por defectos: Este indicador es complementario a la pérdida de capacidad por defectos y mide el tiempo extra que se ocupa trabajando en productos defectuosos, ya sea reparando productos con errores o produciendo productos que no pasarán los estándares de calidad. Se calcula midiendo las tasas de defectos a la salida de cada estación y el tiempo de trabajo que se agrega al proceso para reparar el producto, o bien, si éste no puede ser reparado,

contabiliza el tiempo que se consumió produciendo el producto hasta el punto donde se identificó el problema de calidad. La pérdida temporal de producción se mide como el porcentaje de tiempo dedicado a productos defectuosos sobre el tiempo dedicado a productos terminados, expresándose como el porcentaje de horas productivas que se pierden por calidad.

4.5.2.3 Herramientas de control de producción

Mapas de proceso: Los mapas de proceso o Value Stream Maps (VSM) son diagramas de flujo de los procesos productivos, en los cuales se registran datos de la eficiencia del proceso. En el diagrama, cada actividad es representada por un rectángulo, en el cual está descrito el nombre de la etapa, su capacidad de producción y su tiempo de producción. A la entrada y salida de los recuadros de actividades, los inventarios son representados por triángulos. Los triángulos contienen cantidades de WIP y el tiempo de inventario del WIP en esa sección. El tiempo de inventario a la salida de un proceso considera el tiempo de traslado de los insumos, mientras que el tiempo de inventario a la entrada de un proceso considera el tiempo que los insumos pasan en cola en la etapa antes de ser procesados. A la salida de los procesos se registra el throughput y tiempo de ciclo, mientras que, al inicio, se registra el takt-time, tasa de provisión y tasa de demanda. La Figura 16 presenta un mapa de proceso simplificado.

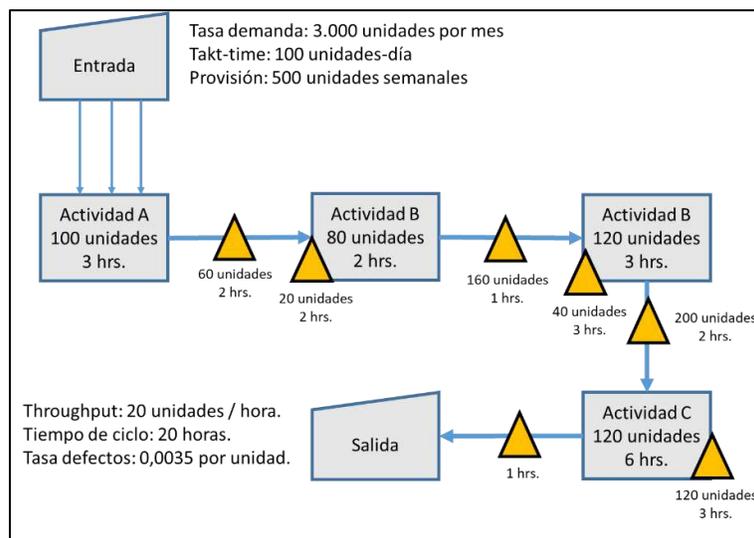


Figura 16. Ejemplo de mapa de proceso

Muestreos del trabajo: Corresponden a procesos de análisis sistemático de los procesos y procedimientos de trabajo por etapa, actividad o estación del trabajo, de los cuales resultan los indicadores de tiempo de producción, tiempo de ciclo, throughput y otros. Existen muestreos transversales y longitudinales. Los transversales permiten cuantificar las capacidades de las estaciones y los inventarios del proceso, al realizar un corte en un instante de tiempo determinado de todo el proceso, y cuantificar los inventarios, productos e insumos disponibles en cada sección del proceso. Los muestreos longitudinales, en cambio, se focalizan en una parte del proceso y muestrean su ejecución por un período de tiempo acotado para determinar la tasa de producción, tiempo de producción, tasas de defectos u otros. Tanto las muestras transversales como longitudinales no sirven de manera unitaria, sino que se deben realizar numerosas muestras y procesarse los resultados de manera agregada por medio de análisis estadísticos sobre muestras estadísticamente representativas.

Fichas de control de flujos: Estas fichas, conocidas también como planillas Kanban, corresponden a pedidos estructurados de insumos entre estaciones de trabajo. Una ficha Kanban indica la estación solicitante y la estación a la que está dirigida la solicitud, un itemizado del pedido estándar y la forma en que deberá ser entregado, dentro de un kit estándar, previamente ordenado. También indica el plazo en que debe ser recibido el pedido y, algunas veces, los chequeos de calidad que deben realizarse antes de despacharlo. Así, las estaciones aguas arriba sólo despachan insumos cuando la estación aguas abajo los demanda por medio de la tarjeta. Además, los despachos estandarizados controlan los flujos de insumos, inventarios y el WIP.

4.5.2.4 Herramientas de control de calidad

Puntos de control de calidad: Los puntos de control de calidad son puntos de inspección a la salida de estaciones de trabajo críticas. Es importante ubicarlos estratégicamente de acuerdo con el tipo de producto y sistema de producción con el cual se está trabajando. En el caso de estructuras divergentes, los puntos de control deben ubicarse antes de la separación de las líneas productivas. En sistemas convergentes, antes del despacho para ensamblaje, en el caso de estructuras lineales se ubican antes de la salida del producto a estaciones cuello de botella y, en estructuras mixtas de líneas de producción, se ubican antes de las estaciones “Nodo”, es decir las estaciones que reciben productos de varios procesos distintos, ya que éstos son propensos a convertirse en cuello de botella. Los puntos de control tienen el objetivo de proteger a los cuellos de botella o puntos de menor capacidad del sistema, estabilizando su producción. Además, posicionarlos en áreas estratégicas disminuye los tiempos de inventario y el tiempo productivo perdido por defectos.

Es importante que se integre el proceso de control al proceso productivo de una estación de trabajo, ya que esto hace partícipes a los trabajadores de la calidad del producto. Así mismo, evita que los productos tengan que ser despachados de una estación a la siguiente, antes de ser controlados. En el punto de control los trabajadores deberán contar con un procedimiento de inspección visual, una lista de chequeo y una ficha de control de calidad visible en el producto. De esta forma, un inspector de aguas abajo podrá revisar la ficha para cerciorarse de que todos los controles previos han sido realizados.

Listas de chequeo de calidad: Las listas de chequeo deben incluir un listado de las revisiones a realizar, las tolerancias aceptables para cada revisión, el método de verificación para cada revisión y el criterio de validación de cada una. Además, fichas con mayor grado de desarrollo, separan las revisiones en críticas y no críticas. Las revisiones críticas se evalúan primero y su incumplimiento implica que el producto deberá ser desechado o enviado a un proceso de retrabajo. En cambio, las revisiones no críticas pueden corregirse continuando con el proceso de producción.

La revisión explica el nombre del componente o producto evaluado y su método de revisión, por ejemplo, “Inspección visual cara interior tabique de muro”. Las tolerancias indican qué es aceptable en la inspección y qué no, por ejemplo: “Si la cara presenta grietas, descartar el producto”. El método de verificación es un listado de elementos o partes a revisar donde cada una tiene definida su criterio de validación, por ejemplo: “Medir distancia de piso a interruptor eléctrico – Se tolerará una distancia a eje de entre 115 a 120 cm”. Muchas veces las verificaciones y criterios de validación pueden ser traspasados a plantillas de evaluación, como, por ejemplo, una vara graduada con marcas entre 115 y 120 cm. Para verificar la altura a eje de los interruptores.

Es importante complementar las listas de chequeo con un procedimiento que indique qué hacer en caso de la identificación de un problema de calidad en diferentes revisiones. Así, el trabajador o

inspector conoce exactamente dónde enviar el producto, cómo marcar la falla y cómo debería actuarse para corregirla o evitarla. Los procedimientos pueden representarse como diagramas de decisión para que el trabajador sepa por dónde comenzar y qué hacer frente a los diferentes hallazgos. Las listas de chequeo muchas veces son traspasadas a fichas de producto, con información reducida de las revisiones realizadas, aprobación y observación. De esta forma, el producto entregado a las estaciones siguientes cuenta con un historial del resultado de su revisión.

Herramientas de control visual: Las herramientas de control visual complementan a las listas de chequeo utilizadas en los puntos de control. Son herramientas rápidas que guían a los inspectores o trabajadores en qué observar para hacer una evaluación rápida de la completitud y calidad de los elementos. Las principales herramientas de control visual son: Fotografías por cara comentadas, diagramas de inspección visual y plantillas de inspección.

Las fotografías comentadas son fotos de un producto que cumple con los criterios de calidad, donde se han incluido marcas o comentarios para todos los elementos que se deberían verificar en esa cara. Además, se incluyen ejemplos de errores comunes que son detectables visualmente. Los diagramas son representaciones esquemáticas de los productos o componentes, que ponen énfasis en sus criterios de cumplimiento, como medidas, número de componentes, estado de las conexiones u otros. Las plantillas son instrumentos de medición adaptados a las revisiones del punto de control, como por ejemplo reglas graduadas específicamente para mostrar el marco de tolerancia de las distancias entre distintos elementos. Las plantillas estandarizan los procesos de control facilitando que se realicen de manera rápida y sistemática, aunque su uso, si no es complementado por procedimientos y listas de chequeo claras, hará que el inspector no ponga énfasis en el objetivo del control, sino sólo en el método.



5 CAPÍTULO 5: FASE LOGÍSTICA

En esta sección se abordan las actividades requeridas para la puesta en obra de los elementos. Se considera como fase logística el período comprendido entre que el elemento terminado es manipulado en planta previo a la carga y despacho, hasta que el elemento es puesto en terreno, listo para comenzar la instalación. Las actividades mínimas de logística son preparación, carga, transporte y puesta en obra. A éstas se pueden sumar diversas fases de manipulación y acopio. Para cumplir el objetivo de la fase se deben realizar las siguientes acciones:

- Preparar un plan detallado del transporte, que considere restricciones y precauciones requeridas según el tipo de elemento y medio de transporte.
- Ajustar los tiempos de transporte y entrega al programa de la obra para minimizar inventario.
- Gestionar el almacenaje en obra, en caso de que el elemento no pueda instalarse Just in Time.
- Optimizar el uso de las maquinarias, minimizando la manipulación de los elementos.

5.1 Plan de Transporte

Las condiciones de los elementos a transportar tienen que ver con aspectos intrínsecos y extrínsecos, para los espacios donde se encontrará el elemento desde su fabricación en planta hasta el montaje en obra. A continuación, en la Tabla 15, se muestran las consideraciones que hay que tener para desarrollar el plan.

Tabla 15. Consideraciones para generar el plan de transporte

Condiciones Extrínsecas	Condiciones intrínsecas
	
<p>Condiciones propias del contexto de las actividades e instalaciones logísticas.</p>	<p>Son aquellos que corresponden a características propias del elemento o componente industrializado a movilizar.</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Ruta: identificación de lugares posibles por los que el elemento o componente industrializado terminado pasará. • Climáticas: condiciones fluviales y de temperatura que puedan ser críticas para el transporte. • Topográficas: condiciones y calidad de camino de la ruta de camión. 	<ul style="list-style-type: none"> • Físicas: volumen, dimensiones y peso. • Material: restricciones o cuidados especiales dado por la materialidad del elemento o componente industrializado. • Estructurales: restricciones o cuidados especiales por solicitaciones estructurales.

Con el fin de englobar todas estas consideraciones, es necesario crear un plan de transporte. En este plan se pueden identificar todas las actividades, las capacidades y recursos necesarios para mover un elemento o componente industrializado desde el punto de fabricación hasta el punto de montaje en un proyecto de construcción hospitalaria. Las actividades para formular el plan de transporte es el siguiente:

- a) Identificación de instalaciones: todas las ubicaciones por dónde pasará el elemento transportado.
- b) Identificación de distancias: mensurar todas las distancias que existen entre cada una de las instalaciones.
- c) Identificación o definición de tareas requeridas: para generar el movimiento o flujo de los elementos a lo largo de la etapa logística.
- d) Identificación de equipamiento necesario: Para cada actividad se requerirá que en las instalaciones se cuente con alguna maquinaria o equipo para apoyar y hacerla posible.

Creación de una lista de operaciones logísticas: en la que se resuman todos los aspectos identificados como el ejemplo que aparece en la

Tabla 16. Se recomienda incluir tiempos estimados para tener una noción del tiempo de espera de una orden por el elemento o componente industrializado, lo que resulta útil para la planificación.

Tabla 16. Ejemplo de lista de operaciones logísticas.

Operación	Origen	Destino	Maquinaria	Duración [min]
Carga	Punto Fabricación	Punto Fabricación	Grúa Horquilla	1,5
Traslado	Punto Fabricación	Planta de Almacenaje	Grúa Horquilla	5,5
Descarga	Planta de Almacenaje	Planta de Almacenaje	Grúa Horquilla	1,5
Carga	Planta de Almacenaje	Planta de Almacenaje	Grúa Horquilla	2
Traslado	Planta de Almacenaje	En camión	Grúa Horquilla	6,7
Descarga	En camión	En camión	Grúa Horquilla	3,5
Traslado	En camión	Obra	Camión	27,5
Carga	Obra	Obra	Grúa Horquilla	1,5
Descarga	Obra	Obra	Grúa Horquilla	1,5
Carga	Obra	Obra	Grúa Torre	12,5
Traslado	Obra	Punto de Montaje	Grúa Torre	35,5
Descarga	Punto de Montaje	Punto de Montaje	Grúa Torre	4

Habiendo revisado las consideraciones generales para generar un plan de transporte, a continuación, se explican con más detalle cada una de las operaciones e instalaciones básicas para permitir el transporte.

5.1.1 Transporte en Camión

La normativa actual³² exige que, para que no se deba acudir a la escolta policial para el traslado en vías públicas, el ancho máximo exterior con o sin carga es de 2,6 m, mientras que el alto máximo con o sin carga es de 4,2 m. Por otro lado, el largo máximo a respetar de un camión de carga es de 11 m en total. En la Figura 17 se indican dónde se miden las dimensiones de carga (The Building and Construction Authority, 2014)³³:

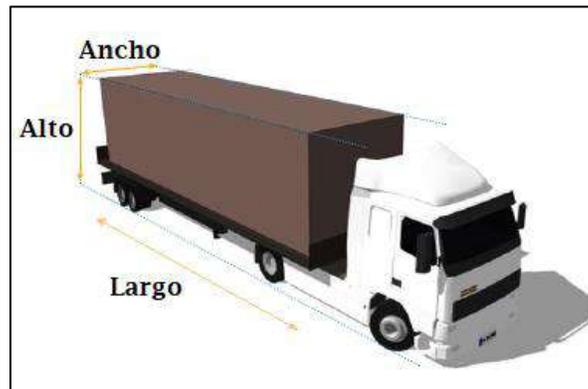


Figura 17. Dimensiones de carga del camión

Para poder trasladar desde la planta de almacenamiento hacia el camión se recomienda utilizar una grúa horquilla que tenga una capacidad máxima de 2.000 kg, utilizando un pallet como

³² Norma "Establece Dimensiones Máximas a Vehículos que Indica" de la Ley N° 18.290.

³³ The Building and Construction Authority. (2016). Design por Manufacturing and Assembly – Prefabricated Prefinished Volumetric Construction Guidebook.

plataforma de transporte. El mismo equipamiento es recomendable para descargar el camión en obra. Respecto a las condiciones del camión, se recomienda lo siguiente:

- Que la plataforma se encuentre seca y limpia antes de recibir el material a cargar. Se debe evitar que haya elementos que puedan ensuciar o deformar localmente los módulos.
- Utilizar cubiertas plásticas o lonas impermeables para envolver la carga (ya sea módulo o tabique) y así protegerlo de las condiciones climáticas y las propias por ir a alta velocidad como puede ser el viento, lluvia, sol, entre otros.
- Para apilar tabiques sobre otros tabiques, se recomienda utilizar planchas de poliestireno expandido que cubran al menos el 60% de la superficie del tabique.

5.1.2 La Ruta

Es clave definir una ruta y un horario en que no solo se optimicen los tiempos de desplazamiento, también una en la que se tengan controladas las siguientes variables:

- Altura máxima en todo el trayecto: carretera y zonas urbanas.
- Carga máxima en todo el trayecto: carretera y zonas urbanas.
- Viraje mínimo necesario.
- Ancho de calle mínimo necesario.
- Calles específicas con restricciones (horarias y permanentes).

Para realizar una aproximación más realista del uso de esta parte de la guía, se plantea la utilización de un caso de aplicación, en la que se define una ubicación de planta de fabricación y almacenaje³⁴ de los elementos en la comuna de Cerrillos (origen) y una ubicación de la obra donde se está ejecutando un proyecto de construcción en salud³⁵ en la comuna de Quilicura (destino), ambas localidades ubicadas en la ciudad de Santiago de Chile, mientras que el elemento de ejemplo es un panel 2D prefabricado (Figura 18).

³⁴ Caso ficticio que solo sirve para ejemplificación de la aplicación de la guía. Se desconoce el uso de las dependencias que existen actualmente ahí.

³⁵ Caso ficticio que solo sirve para ejemplificación de la aplicación de la guía. Se desconoce el uso actual de ese terreno.



Figura 18. Ejemplo análisis origen-destino

El primer paso es definir la ruta que se realizará. Esta puede ser obtenida en base a cálculos de ruta realizado por mapas online (Figura 19). Al realizar el cálculo entre el origen y destino, nos da 2 posibles rutas, las cuales aparecen en la siguiente figura. La preferencia de una ruta sobre otra dependerá del horario y la congestión que exista al momento de ser transportado.

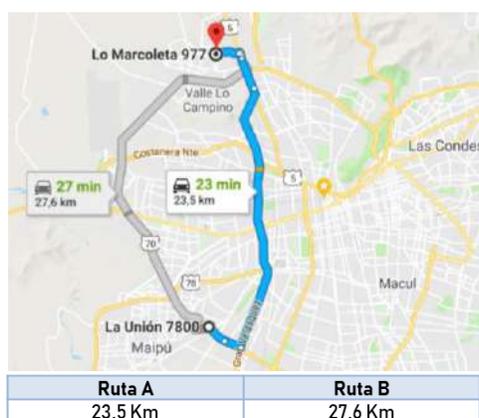


Figura 19. Rutas alternativas para ejemplo

Una vez obtenidas las rutas, para ambas, se necesita controlar variables que se relacionan con las posibles restricciones y que podrían ser incompatibles con las dimensiones o peso de los elementos o componentes que se necesita trasladar. El estado de este seguimiento de variables se detalla en la Tabla 17:

Tabla 17. Tabla de revisión de variables de transporte en rutas para ejemplo.

Variable	Ruta A	Ruta B
Altura máxima en todo el trayecto	No presenta complicaciones en origen (zona industrial). En ruta intermedia, a pesar de ir por el interior del anillo Américo Vespucio, va por Autopista Central (sin restricciones extra)	No presenta complicaciones en origen (zona industrial). En ruta intermedia va por Autopista Américo Vespucio (sin restricciones extra). En destino no existen restricciones extra
Carga máxima en todo el trayecto	Ídem	Ídem

Viraje mínimo	Sólo tener precaución en Lo Marcoleta al cruzar Av. Lo Cruzat (requiere de maniobra de viraje por angostamiento de vía)	Sólo tener precaución en Lo Marcoleta al cruzar Av. Lo Cruzat (requiere de maniobra de viraje por angostamiento de vía)
Ancho de calle mínimo necesario	Se debe tener precaución reduciendo velocidad en tránsito de Lo Marcoleta desde Lo Cruzat hasta destino final (acceso a obra).	Se debe tener precaución reduciendo velocidad en tránsito de Lo Marcoleta desde Lo Cruzat hasta destino final (acceso a obra).
Calles específicas con restricciones (horarias y permanentes)	Sin restricciones.	Sin restricciones.

5.2 Áreas adyacentes

Dentro de las consideraciones del plan de transporte se deben tener en cuenta las calles que colindan el terreno de la obra en cuanto a los siguientes (Tabla 18) aspectos (Comisión SSO CChC Concepción, 2016)³⁶:

Tabla 18. Aspectos de localización y áreas adyacentes



Las condiciones de las calles alrededor del proyecto deben estar aptas para acomodar el camión para acceder a obra teniendo en cuenta que se requiera entrar de frente o en retroceso.



Evitar el estacionamiento de vehículos en los alrededores, especialmente en el perímetro cercano al acceso de camiones, para evitar atrasos en la entrega de los elementos y componentes, por no poder acceder por no contar con el ancho de vía mínimo necesario, por ej.



Considerar los tamaños del camión y la carga al momento de definir los metros de despeje de la zona de viraje del camión en el acceso.

³⁶ Seguridad y Salud Ocupacional Comisión SSO CChC Concepción (2016). MANUAL INICIO DE OBRA CONSTRUCCIÓN.



Asegurar que en el acceso haya continuidad planar, ya sea de la calle con la acera como de todas las diferencias de altura que hayan al momento de acceder (utilizar rampas de ser necesario).

5.3 Gestión de Tránsito para cargas muy pesadas

En el caso que el o los elementos transportados superen las dimensiones y/o pesos de carga permitido en la normativa chilena, se debe solicitar escolta policial con el Departamento O.S.2 Servicios de Tránsito y Carretera de Carabineros de Chile (2016)³⁷ Esta solicitud puede realizarla cualquier persona natural o jurídica, organismos y/o empresas públicas y privadas y para ello se debe tener en cuenta lo siguiente:

- El servicio policial de escolta es pagado.
- El cálculo del valor del servicio se puede realizar mediante el Polinomio de Escoltas, el cual arroja un índice tarifario (cuya unidad es [CLP/Km-recorrido]), que depende de la cantidad de combustible, lubricante, uso de neumáticos y depreciación del vehículo.
- Para obtener el índice tarifario se puede consultar el anexo de la circular n°1801 del Boletín Oficial de Carabineros.
- Se recomienda tener en cuenta el costo extra (considerando cuáles son los traslados que se deben realizar) por concepto de escolta policial en la etapa de diseño para ver si influye en el dimensionamiento de la modularización.

5.4 Tipo de maquinaria para izaje.

Para realizar la elevación de elementos y componentes industrializados en obra es preferible utilizar la misma maquinaria con la que se cuenta con el objetivo de no incurrir en más gastos generales. Se deben considerar los pesos y tamaños máximos del elemento o componentes industrializados en la planificación de obra para ver si se necesita maquinaria de mayores capacidades. Algunos tipos de grúas para elevación se describen en la Tabla 19 (The Building and Construction Authority, 2014)³⁸:

³⁷ Carabineros de Chile (2016) Circular 1801 para control de cargas de transporte.

³⁸ The Building and Construction Authority. (2016). Design por Manufacturing and Assembly – Prefabricated Prefinished Volumetric Construction Guidebook.

Tabla 19. Tipos de grúas

			
Características de Grúa	Grúa Torre	Grúa Móvil	Grúa sobre Oruga
Capacidad Grúa	50 toneladas	700 toneladas	500 toneladas
Capacidad de Elevación	25 - 40 toneladas	25 - 40 toneladas	25 - 40 toneladas
Altura promedio	120 m	40 m	80 m
Radio de Trabajo Promedio	40 m	40 m	40 m

5.5 Consideraciones para almacenamiento

Hay que considerar que, a pesar de que el enfoque productivo requiera reducir o eliminar el inventario, este es a veces inevitable, es por ello que se requiere contar con consideraciones para cuando se requiera de almacenamiento. La planta de fabricación requiere de la habilitación de un patio de producción y otro de almacenamiento, mientras que la obra requiere de un almacenamiento y (en caso de que se requiera) un patio para premontaje de componentes o piezas. Estos almacenamientos o bodegas deben considerar ciertos aspectos para la manejabilidad y cuidado de los elementos, además de recomendaciones para aumentar su grado de utilización productiva. Algunas recomendaciones respecto a las condiciones de la planta de almacenaje, ejemplificadas en la Tabla 20, se detallan a continuación:

- Poseer escasa exposición a la intemperie, para evitar que los elementos o componentes industrializados sean afectados por condiciones climáticas, del sol y de los cambios de temperatura. De preferencia un lugar techado y cerrado.
- Poseer un acceso que tenga las dimensiones suficientes para asegurar el ingreso cómodo y adecuado de los elementos o componentes industrializados y la maquinaria correspondiente que lo transporta.
- Poseer un lugar de acopio ventilado y seco.
- Poseer una superficie de almacenamiento plana, limpia y libre de objetos que puedan dañar o deformar los elementos alojados y dar pie a una incorrecta medición o plomo de inclinación.
- Poseer una superficie de almacenamiento separada del suelo (ya sea mediante rieles o utilizando vigas de piso, entre otras diversas soluciones). Esto con el objetivo de impedir que los elementos se humedezcan.
- Apuntar a mantener la menor cantidad de inventario y por la menor cantidad de tiempo.
- Apuntar a disminuir los traslados en el diseño de la distribución de planta.

Tabla 20. Ejemplo planta de almacenaje

Ejemplo de Planta de Almacenaje: CINTAC Cerrillos	
	<ul style="list-style-type: none"> • Utilizan el mismo galpón industrial de 1600 m² de fabricación para la espera del transporte a otro almacenaje. • No tiene exposición a la interperie, por tanto ni operadores ni los elementos industrializados están expuestos al ambiente. • La operación no para en días de extremas condiciones climáticas. • Preocupación constante de evitar elementos en la superficie ya que pueden rajar la cobertura del elemento finalizado. • No se pueden dejar los elementos directo sobre suelo para evitar daño por humedad y rajaduras.

5.6 Consideraciones para Manipulación

La ausencia de planificación y control del modo y equipamiento necesarios para la manipulación tiene consecuencias negativas que abarcan el daño de los materiales propios de obra y de los elementos mismos, además de poner en riesgo la seguridad de los trabajadores. Por lo anterior, es importante identificar los aspectos más relevantes para favorecer la coordinación entre las partes, la manipulación desde el punto de vista de la operación y que exista una buena planificación de las actividades previas y posteriores a ésta.

En la Tabla 21 se presentan los factores de riesgo por condiciones de carga, de manipulación de carga y del lugar de trabajo (Mutual de Seguridad, 2006)³⁹:

Tabla 21. Factores de Riesgo por Condiciones de Carga.

Condiciones de Carga	Condiciones de la manipulación	Condiciones del lugar de trabajo
<ul style="list-style-type: none"> • Carga pesada en función de los riesgos posturales en la manipulación • Carga dispuesta en altura o muy baja como para ser levantada. • Forma de la carga que hace difícil agarrarla. • Superficie no apta para agarre y sostenimiento. • Desequilibrada o inestable. • Demasiado voluminosa que interfiere la visual. 	<ul style="list-style-type: none"> • Utilizar técnicas de levantamiento deficiente (cuando se hace un movimiento muy rápido, se toma con espalda doblada o, por trabajo prolongado). • Trabajo continuo sin descanso para recuperación. • Descoordinación en operación. • Combinación de acciones (elevación, transporte y descarga). • Transporte cargado en trayectos largos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Superficies irregulares, inclinadas o con obstáculos. • Superficies de tránsito con humedad, resbaladizas e inestables. • Falta de orden y aseo. • Iluminación deficiente. • Ambiente con temperaturas extremas • Fuerte velocidad del viento • Ritmo elevado del trabajo • Espacios reducidos que obligan a posturas forzadas.

³⁹ Mutual de Seguridad (2006) Material para el control de Riesgos Ergonómicos Asociados al Manejo Manual de Cargas

A modo de ejemplificar los factores de riesgo, debido a las características de carga, vemos las posibles consecuencias de una falta de manejo de estos al momento de diseñar y planificar la logística de entregas de vigas de madera prefabricado (Tabla 22):

Tabla 22. Ejemplo factores de riesgo.

Material	Pino oregón
Densidad	450 Kg/m ³
Dimensión Unidad	4500x100x300 mm
Lote	3 vigas
Peso Aprox. Lote	182,5 Kg
Hechos ocurridos por la no consideración de los factores de riesgo	
<ul style="list-style-type: none"> • Por peso se consideró una grúa horquilla para manipular el lote. • El lote no posee manillas de agarre, por lo que debe ser previamente levantado de forma manual para pasar una eslinga por debajo. Eso provoca que se deban requerir 8 personas para levantarlos, lo cual es inviable. • El atraso en este punto lleva a que exista una descoordinación en la entrega de las vigas al transportista. • Esto genera también atrasos en entrega, lo que termina apretando los plazos, obligando a extender los horarios de operación y a reducir los espacios de descanso. Esto lleva a que exista un desgastamiento de los operadores quienes requieren de reponer energías para seguir trabajando expuestos al levantamiento manual de cargas. • La dimensión de la planta de almacenaje no fue considerada crítica al momento de diseñar la logística, menos aun considerando que la descoordinación anterior llevó a que se acumulara más inventario de lo planeado. Esto llevó a que se utilizara más superficie de la misma planta para ir dejando los lotes de vigas que estaban a la espera de ser transportados a obra. La consecuencia de esta decisión es que disminuye el grado de control de la planta por mayor interferencia visual, aumenta el riesgo de accidentes por disminución del espacio libre, lo cual fuerza a tomar posturas incómodas para la manipulación y acota el tránsito seguro de la grúa horquilla y el caminado por operadores. 	

Aun cuando se busque maximizar el uso de tecnologías y maquinarias para manipular elementos o componentes industrializados, hay veces que la manipulación humana es inevitable, ya sea por condiciones espaciales o por restricción presupuestaria. Este tipo de manipulación, si no se realiza responsablemente, puede traer consigo diversos perjuicios a los trabajadores que la realicen. Es de sumo cuidado para mantener la integridad física de los trabajadores al momento de levantar, mover y bajar elementos de todo tipo de tamaños y pesos. Con el objetivo de evitar estas fuentes de riesgo, es que se recomienda consultar y seguir los pasos del Material para el control de Riesgos Ergonómicos Asociados al Manejo Manual de Cargas (Mutual de Seguridad, 2006)⁴⁰.

⁴⁰ Mutual de Seguridad (2006) Material para el control de Riesgos Ergonómicos Asociados al Manejo Manual de Cargas



6 CAPÍTULO 6: FASE DE MONTAJE

En esta sección se abordan las consideraciones para diseñar un proceso de montaje industrializado, planificar la ejecución, realizar un control proactivo y asegurar el cumplimiento de los programas de construcción. Esta sección parte de la base de que previamente se ha realizado un proceso de diseño del proyecto considerando el objetivo de industrialización, el contratista y proveedor han participado del proceso de diseño del producto y se ha coordinado previamente la fabricación y logística de acuerdo a los plazos y requerimientos de obra. Además, se considera que existe una relación contractual cercana entre proveedor y contratista que permite apuntar al uso de sistemas de producción Made to Order (MTO) y puesta en obra Just in Time (JIT).

6.1 Bases del montaje de elementos industrializados

El objetivo fundamental de la industrialización de elementos es minimizar el consumo de recursos para la ejecución del proyecto, utilizando métodos de fabricación fuera de obra que minimicen las operaciones realizadas en la etapa de construcción y que maximicen su productividad. Los elementos industrializados cumplen, en general, con dos características básicas:

- Son entregados a obra con un alto nivel de terminación con respecto al producto final.
- Incorporan mecanismos de anclaje previamente compatibilizados con la obra, que simplifican su conexión.

Dado que el producto ha sido manufacturado en planta y que se entrega con un alto nivel de terminación, el costo directo de su adquisición tiende a ser mayor que el costo directo de los insumos requeridos para una partida tradicional equivalente. Por ello, su competitividad económica depende fundamentalmente del ahorro de tiempo y recursos alcanzado en la etapa de montaje. Los sistemas de anclaje y conexión, que han sido conceptualizados para el producto en la etapa de diseño para el ensamblaje, buscan minimizar las operaciones y maximizar su productividad, de manera de aportar competitividad en costos al elemento.

Además del beneficio económico, la simplificación de operaciones y aumento del grado de terminación aumentan la calidad y precisión de obras, disminuyen la cantidad de obreros en terreno, mejoran las condiciones de seguridad de obra y reducen los requerimientos de cuadrillas

adicionales de orden, aseo y habilitación de espacios. A continuación (Tabla 23), se presentan los beneficios directos e indirectos del uso de sistemas industrializados Off the Shelf en fase de construcción, elaborados en base a la información de catálogos técnicos de soluciones de baños modulares para uso residencial, disponibles actualmente en el país.

Tabla 23. Beneficios de la construcción industrializada en la fase de montaje

Beneficios directos construcción industrializada			
Baños modulares Off the Shelf		Partidas tradicionales baños in-situ	
Tiempo ciclo producción	1 semana	Tiempo ciclo construcción	2 semanas
Tiempo montaje	2 horas	Tiempo productivo construcción	37,8 horas
Cuadrilla montaje	2-3 pax.	Cantidad de especialidades involucradas	12 a 14
Beneficios indirectos construcción industrializada			
	Baños modulares Off the Shelf	Partidas tradicionales baños in-situ	
nivel de terminación de la solución	85-95%	N/A	
Estandarización soluciones instalación	Alta. Instalaciones concentradas en ciertos tabiques y en orientación vertical con piezas estándar	Baja. Soluciones adhoc utilizando diferentes piezas in-situ para adaptarse a morfología de soluciones.	
Estandarización de las partidas	Alta. Pocos trabajadores realizan pocas operaciones altamente estandarizadas durante lapsos de tiempo reducidos.	Baja. Diversas cuadrillas entran y salen constantemente de la partida en ejecución, modificando secuencias y afectando el trabajo de otras cuadrillas.	
Seguridad de las partidas	Alta. Pocos trabajadores en un mismo lugar, pocas partidas y altamente estandarizadas.	Baja. Muchos trabajadores en un mismo lugar, ambiente de trabajo sucio, secuencia variante y múltiples partidas.	
Orden y limpieza de las partidas	Alta. Pocas operaciones, mayoritariamente en contornos y conexiones, de carácter seco y estandarizado.	Baja. Múltiples faenas húmedas, adhoc y poco estandarizadas, ejecutadas por múltiples trabajadores distintos.	

Como muestra el ejemplo anterior, las ventajas de la utilización de elementos industrializados en la fase de montaje corresponden a:

- Reducción de operaciones
- Mayor estandarización de las operaciones
- Aumento de productividad de montaje
- Reducción de la mano de obra en terreno
- Mejoramiento de la seguridad
- Reducción del inventario en obra
- Mejoramiento de la constructabilidad

Sin embargo, esto sólo se logra si la partida de montaje ha sido correctamente planificada, al igual que la coordinación de la provisión de los elementos, y si se han tomado en cuenta las consideraciones para el correcto uso, manipulación e instalación de los sistemas industrializados. El plan de montaje deberá buscar la provisión e instalación Just in Time, en un flujo continuo de preparación, montaje y recepción de zonas terminadas.

6.1.1 Plan de montaje

En la fase de planificación se buscará un tiempo de ciclo estándar, correspondiente a la duración de las actividades de recepción de elementos, manipulación y transporte al sitio de trabajo, preparación y montaje, de acuerdo al kit estándar de despacho por sección. En el escenario ideal, no deberían existir holguras entre los tiempos de ciclo del montaje, evitando así, pérdidas de productividad de la mano de obra.

Una vez determinado el tiempo de ciclo, deberá planificarse la secuencia de avance del montaje, determinado un número estándar de kits que maximice la capacidad de instalación semanal y luego, determinando las secciones que se planificarán por semana del programa para mantener un ritmo estándar de instalación según el tiempo de ciclo. Al planificar el montaje, se deben tener en cuenta:

- Los plazos de fabricación
- Plazos de provisión a obra
- Logística de los elementos
- Condiciones previas
- Características del método de montaje.

Los elementos, idealmente, deberían montarse justo previo al término y recepción de la sección en la que se incorporan, y, en lo posible, ser recepcionados en obra justo antes de su instalación. Para ello, se incorporarán holguras búfer al tiempo de ciclo, que consideren aspectos como la diferencia en los tiempos de traslado, diferencias en el tamaño de los kits o accesibilidad de las secciones. Cuando esto no es factible, deberán tomarse las consideraciones para proteger el elemento, inventararlo temporalmente y proteger sus terminaciones de forma posterior a la instalación.

6.1.2 Plan de provisión

Al coordinar la provisión, se debe tener en cuenta el plan de montaje, los plazos de recepción de las secciones, la capacidad de instalación y la capacidad de inventario temporal de los elementos. En consecuencia, el plan de provisión deberá utilizar un ritmo equivalente, múltiplo del tiempo de ciclo de los elementos. El ritmo de despachos deberá utilizarse para coordinar la frecuencia con que los elementos serán recepcionados en obra, la cual debería ser estándar y constante. La holgura búfer definirá el rango máximo de desplazamiento del tamaño de despacho.

Por ejemplo, para un tiempo de ciclo de 5 elementos instalados por día, y habiéndose definido una frecuencia de despacho semanal, con un búfer de 1 día, el tamaño de despacho deberá fluctuar entre 20 (5 días hábiles menos la holgura) y 30 (5 días hábiles más la holgura) elementos por semana. Esto se debe a que el costo de logística e inventario temporal es generalmente menor al costo de la pérdida de secuencia de avance, por lo que se busca que nunca se altere el ritmo de montaje.

6.1.3 Plan de logística en obra

Primero, es importante considerar que los tiempos de transporte e inventario son pérdidas de productividad del montaje, ya que implican la utilización de recursos en actividades que no aumentan el avance de obra, es decir, que no agregan valor al proyecto. Por ello, la gestión de la fase de montaje deberá considerar que los elementos se transporten y manipulen lo menos

posible y que se instalen, en lo posible, inmediatamente después de ser recepcionados en obra. Para esto, las principales recomendaciones son:

- Planifique múltiples zonas de inventario temporal de los elementos, contiguas a las zonas de trabajo.
- Considere el uso de sistemas de manipulación y transporte que permitan posicionar los elementos en el sitio de trabajo o sitio de inventario temporal inmediatamente luego de ser descargados.
- Considere una logística First In Last Out – FILO en la distribución de los acopios temporales, es decir, que el elemento más próximo al sitio de trabajo sea el primero en ser utilizado.
- Utilice planillas estándar para la distribución de los elementos en el sitio de trabajo o lugar de acopio temporal, que permitan tener fácil acceso a los componentes del elemento en el orden en que se necesitarán.

6.2 Consideraciones previas a la fase de montaje

El aprovechamiento de las ventajas de los sistemas industrializados depende fundamentalmente de que se logre crear un sistema de montaje efectivamente estandarizado, cíclico y con ritmos constantes, que no esté sujeto a detenciones o pérdidas de secuencia como los sistemas tradicionales. Para ello, es necesario prestar atención a:

- Condiciones de recepción de los elementos industrializados
- Condiciones de recepción de las obras previas
- Condiciones de las operaciones de montaje

6.2.1 Condiciones de recepción de los elementos industrializados

La planificación de obras considera que los elementos llegan en condiciones aptas para ser montados en sectores específicos de la obra, por medio de partidas simplificadas de anclaje, conexión e instalaciones. Esto implica que los despachos se producen Just in Time, en kits destinados a sectores específicos, para la instalación de los elementos que permitirán cerrar o entregar dicha obra. De acuerdo con lo anterior, las condiciones en las que debe llegar a obra un elemento industrializado son las siguientes:

- Recepcionarse en obra en el plazo responsable más cercano a su fecha de instalación planificada, considerándose una holgura mínima para la recepción de partidas previas y la ejecución de obras.
- Garantizar que al momento de la recepción en obra se haya verificado la completitud de todas las faenas previas requeridas en las zonas programadas de montaje.
- Asegurar que al momento de la recepción se tiene claridad de la logística planificada para cada kit de elementos.
- Los kits de elementos deberán ser despachados por zona, sector o recinto del proyecto, según itemizados con todos los componentes de las secciones programadas.

- Los elementos deberán recepcionarse en obra con un nivel de terminación mayor al 50%. En el caso de elementos Off the Shelf, el nivel de terminación supera el 85%. Calidad deberá verificar que todos los elementos estén aptos para el montaje.
- Los kits deberán despacharse junto con todos los elementos y componentes necesarios para su conexión, como anclajes, montantes, fijaciones y conexiones a acometidas.
- En lo posible, se deberá evitar que éstos sean inventariados en zonas de acopio para minimizar su manipulación y las pérdidas de transporte y movimiento de insumos.
- Los elementos deberán ser recepcionados nuevamente por calidad al momento de presentarse en la ubicación donde serán instalados, verificando la calidad de las condiciones previas y calidad de los elementos de compatibilidad de la solución industrializada.

Los elementos industrializados, particularmente los del tipo volumétrico, ocupan bastante espacio de inventario y, además, debido a su nivel de terminación, son delicados y propensos a dañarse en stock o durante la manipulación. Por ello, es necesario que se despachen de acuerdo a los programas de uso, en kits preparados para la instalación de acuerdo a los programas de trabajo por zonas. Por otro lado, al momento de recepcionarse, deben estar identificadas las operaciones de logística necesarias desde su descarga hasta la presentación para montaje, debido a que se necesita planificar la disponibilidad de recursos requerida, los lugares de descarga y secuencias de transporte o pre-armado programadas previo a su instalación.

6.2.2 Condiciones de recepción de las obras previas

Para que se puedan aprovechar los mecanismos simplificados de montaje, es necesario que la obra previa en la cual se introducen los elementos industrializados cuente con características especiales que garanticen la factibilidad de incorporarlos. Dichas características tienen que ver fundamentalmente con consideraciones de compatibilidad con el elemento, que implican adaptar la obra previa para incluir sistemas de conexión. Por esto, el programa del proyecto deberá considerar que todos los requerimientos de la obra previa hayan sido cumplidos antes de montar el elemento o, de lo contrario, no se podrán aprovechar los beneficios del uso de sistemas industrializados.

Los requerimientos de obra previa que deben considerarse son:

Formato de entrega de la obra previa: Los elementos industrializados, ya sea volumétricos o bidimensionales, en general, llegan a obra con un nivel de terminación casi completo, por lo que la realización de partidas a su alrededor luego de que éste ha sido instalado puede significar daños o alteraciones al elemento, que luego deberán ser subsanadas. Por ello, la programación de obra deberá considerar que todas las partidas sucias de la sección de obra donde se montará el elemento, particularmente las faenas húmedas como hormigones, enlucidos o yesos, hayan sido completadas previo a la instalación.

Además, en el caso de elementos volumétricos, paneles de terminaciones o elementos de cierre, estos alterarán significativamente la accesibilidad a ciertos puntos de la sección donde son instalados, particularmente a la obra gruesa a la cual están anclados. Por eso, es necesario considerar que las secciones donde se incorporará un elemento industrializado quedarán bloqueadas o serán de difícil acceso posterior al montaje, por lo que se deben haber terminado todas las faenas de dicha sección previo a la instalación. Por ejemplo, en el caso de baños

modulares, una vez que éstos son anclados a un eje de la obra gruesa previa, será imposible, o al menos dificultoso, acceder a los muros soportantes a los que está anclado el baño y también se dificultará acceder a las instalaciones donde éste se conecta, por lo que la obra gruesa e instalaciones del recinto deberán ser recepcionadas antes del montaje.

Incorporación de sistemas de anclaje en obra previa: Los elementos industrializados comúnmente utilizados en obra gruesa tradicional, si bien son auto-soportantes, requieren de anclarse a elementos estructurales, por medio de diversos mecanismos. Los sistemas más utilizados son:

- **Vástagos:** Comúnmente denominados espárragos, corresponden a secciones insertadas en la obra gruesa a los cuales se ancla el elemento. Los vástagos más usados son de enfierradura, conectados a tabiques o paneles modulares por medio de soldadura, pernos de anclaje o faenas húmedas que aseguren la fijación. Estos sistemas son los menos industrializados de la lista y su uso debería, en lo posible, evitarse debido a que significan partidas sucias en la integración de los elementos.
- **Sistemas de anclaje por soldadura:** Son sistemas de placas de acero machihembradas o por contacto que conectan la solución industrializada a la obra existente. Su principal ventaja es la resistencia estructural que otorgan a la fijación, no obstante, las problemáticas más comunes con estos sistemas son los puentes térmicos, infiltraciones y el requerimiento de mano de obra especializada.
- **Sistemas de fijación por pernos:** Son comúnmente utilizados para anclar estructuras de envolvente, muros cortina y paneles estructurales. Requieren de menor equipamiento y operaciones que los sistemas anteriormente mencionados, pero, al igual que la soldadura, son propensos a generar puentes térmicos e infiltraciones si no están bien aislados.
- **Sistemas de fijación por rieles:** Algunos sistemas de panelería utilizan rieles para la fijación, los cuales, si están machihembrados, dejan sólo un grado de libertad a la estructura, que luego puede ser eliminado por medio de fijaciones como pernos. Estos sistemas generalmente son complementados por sistemas de huinchas aislantes para minimizar los puentes térmicos. También existen sistemas de rieles que incluyen montantes verticales para disminuir las secciones con grados de libertad.
- **Sistemas machihembrados:** Estos sistemas restringen al menos 4 o 5 grados de libertad, permitiendo que los elementos se conecten y luego desplacen en una sola dirección hasta su posición final. Existen sistemas de machihembrado continuo y discretos, dependiendo de su uso. Las principales ventajas de estos sistemas son que delimitan fácilmente la posición final, son fácilmente rigidizables por medio de pernos y tornillos, y minimizan problemáticas como las infiltraciones.
- **Sistemas de anclaje a presión:** Son generalmente posicionados en las esquinas de los elementos y pueden tener distintos grados de libertad. En su mayoría son sistemas mecánicos con n grados de libertad, que luego de fijarse por medio de cambios de posición en el elemento, restringen el movimiento. Son más rápidos y eficientes que los anteriores debido a que requieren menos equipamiento.
- **Sistemas de anclaje abatibles:** Son mecanismos tipo bisagra rigidizables, que, al alcanzar una posición en cierto ángulo, activan un mecanismo que tranca el anclaje, fijando su posición. Son especialmente útiles para el pre-montaje de soluciones volumétricas, ya que permiten

transportar y manipular los paneles abatidos, para luego fijarlos en su posición al momento de instalar la solución.

La selección de los sistemas de anclaje deberá ser parte de la etapa de diseño para la manufactura y ensamblaje de la solución y, al momento de definirse el sistema a utilizar, deberá considerarse la instalación de dicho sistema en la obra previa, buscando que el método de anclaje escogido minimice las operaciones y facilite la constructabilidad, tanto en la obra previa como al momento de montar los elementos industrializados.

Preparación de acometidas de instalaciones en obra previa: La obra previa también requerirá tener completadas y recepcionadas las acometidas de las instalaciones que se conectarán al elemento. Las acometidas son pasos de las instalaciones inmersas en la obra previa que admiten la conexión a las instalaciones pre-incorporadas en el elemento industrializado. En general, éstas se conectan de forma vertical y tienen salidas a través de pisos técnicos o en cielos técnicos. Es recomendable evitar, en lo posible, el uso de codos para las conexiones y preferir sistemas que no requieran de operaciones complejas para la instalación. Así mismo, en el caso de elementos volumétricos, es preferible que el cielo o piso del elemento sea removible y que reemplace al piso técnico o cielo técnico en la sección para facilitar la conexión a las acometidas.

Terminaciones para la integración del elemento: Ciertos elementos industrializados podrán requerir tratamientos a la obra gruesa, incorporación de aislantes u otros elementos a ésta, o bien, terminaciones especiales. Éstas deberán ser revisadas tempranamente con el proveedor de acuerdo a las características de la solución y deberán ser recepcionadas previo al montaje. También existen requerimientos comunes luego de la instalación, como huinchas de protección de las uniones o aislantes que eliminen puentes térmicos. Estas soluciones son conocidas por los proveedores y muchas veces proporcionadas por ellos mismos, por lo que antes de planificar el montaje, deberá analizarse el cruce entre la obra previa y el elemento industrializado para entender las terminaciones previas y posteriores requeridas.

6.2.3 Condiciones de las operaciones de montaje

Las operaciones de montaje industrializado cuentan con las siguientes características:

- En su mayoría, están dedicadas a la conexión del elemento con la obra existente. Esto considera el anclaje estructural, unión a otros elementos no estructurales y conexión a las acometidas de instalaciones.
- En su mayoría, las operaciones están concebidas como ciclos cerrados de instalación y terminación, vale decir, que el elemento se presenta, monta, instala y termina dentro del mismo ciclo de manipulación, por lo que, al avanzar al siguiente elemento, el anterior ya está completamente terminado. Estos ciclos son conceptualizados para durar horas en vez de días, permitiendo que se terminen o entreguen secciones en los días en que se instalan los elementos.
- En su mayoría, se ejecutan en los contornos del elemento y puntos de conexión, sin alterar su terminación. En el caso particular de elementos volumétricos Off the Shelf, en general, no se accede ni trabaja en el interior del elemento, por lo que las acometidas de instalaciones son conectadas por las caras exteriores.

- Se componen casi exclusivamente de sistemas de construcción seco y si existen faenas húmedas, son sólo de terminaciones. En general, durante el proceso de diseño se eliminan o modifican componentes tradicionales, lentos y sucios para trabajar, como por ejemplo cerámicas y yesos.
- Son ejecutadas por cuadrillas pequeñas y especializadas, de carácter multifuncional. Estas cuadrillas trabajan como riggers en la manipulación logística, instaladores en la fase de montaje y remate en terminaciones.

El costo directo de los elementos industrializados es generalmente mayor que el costo directo de una partida tradicional equivalente, por lo que, el aumento de la inversión debe ser recuperado por medio de la reducción de los costos indirectos de la partida, asociados al consumo de recursos para la instalación, y la reducción de los gastos generales producto del aumento de la velocidad de obra. Para ello, es necesario controlar y asegurar constantemente la eficiencia operacional.

Al monitorear y plantear mejoras a la eficiencia operacional tenga en consideración lo siguiente:

- Prefiera siempre faenas secas a las faenas húmedas para la preparación e instalación, ya que éstas tienen menor riesgo de afectar la calidad del producto y son más fáciles de estandarizar.
- Verifique tempranamente la funcionalidad de los elementos instalados, por medio de pruebas de verificación de las tolerancias de obra, instalaciones, compatibilidad y terminaciones de los elementos piloto instalados. Los primeros elementos permiten detectar requerimientos de modificación al método y los procedimientos de montaje.
- Busque la recepción temprana de las obras previas y verifique que están todas las condiciones requeridas antes del montaje. La variación en las condiciones requeridas afecta significativamente el ritmo de las partidas estandarizadas y la precisión de las obras.
- Busque siempre la estabilización de los ritmos de trabajo antes de plantear mejoras o modificaciones a los sistemas y procedimientos. Las partidas secuenciales estandarizadas son muy susceptibles al efecto látigo, por lo que la variabilidad de las tasas de ejecución genera impactos significativos en el ritmo de avance.
- El aumento del tamaño de cuadrillas siempre implica una disminución del tiempo productivo promedio de cada trabajador, por lo que, para aumentar la eficiencia, opte en lo posible por cambios en la tecnología, equipamiento, métodos o procedimientos antes de aumentar el tamaño de cuadrilla.
- El pre-armado o pre-montado generalmente tiene una productividad mayor a la ejecución en el sitio de trabajo, por lo que, en lo posible, prepare al máximo los elementos antes de instalarlos, ya sea en talleres en obra o en lugares contiguos al sitio de instalación.

1.1. Recomendaciones para la fase de montaje:

Las recomendaciones expresadas en esta sección corresponden a buenas prácticas en la etapa previa al montaje, al inicio de la fase y durante su ejecución. Las prácticas se basan en el aseguramiento de las condiciones, la preparación del trabajo, la instauración de un ritmo constante mediante procesos estandarizados y el control sistemático y proactivo de la operación.

6.2.4 Recomendaciones previas al inicio del montaje

- Asegúrese de que el proveedor ha participado tempranamente en la etapa de diseño, se ha llevado a cabo un proceso de conceptualización y desarrollo del producto de acuerdo a los criterios de diseño para la manufactura y montaje, y se han generado insumos acordes a los requerimientos para garantizar un proceso exitoso de incorporación de elementos industrializados.
- Revise los planos y especificación de la obra con el proveedor para garantizar la compatibilidad del diseño del proyecto, consideraciones constructivas y características de los elementos. Lleve a cabo sesiones colaborativas, en las cuales puedan determinarse y planificarse consideraciones y cambios tempranos para asegurar la compatibilidad.
- Planifique una secuencia rítmica de montaje, buscando que se siga un procedimiento estándar, acorde a los tiempos de ciclo planificados y la frecuencia de despachos. La secuencia debería buscar que el número de elementos montados, número de secciones instaladas y cantidad de elementos despachados a obra se mantengan constantes a lo largo de la fase, ya que así se maximiza la productividad y minimiza la curva de aprendizaje.

6.2.5 Recomendaciones para el inicio de la fase de montaje

- Considere una holgura inicial en la planificación del montaje, acorde a la curva de aprendizaje requerida para alcanzar el ritmo óptimo de instalación. Distribuya este tiempo de set-up a lo largo de los primeros despachos, para evitar que se generen quiebres de stock significativos si la curva se alcanza más rápido.
- Utilice las primeras partidas como prototipos in-situ para probar la secuencia constructiva, las tecnologías y métodos de instalación, con el fin de identificar tempranamente problemáticas posibles y medidas correctivas. Los primeros prototipos permitirán medir tolerancias, ritmos potenciales, analizar los métodos y procedimientos más eficaces.
- Haga partícipe al proveedor del proceso de instalación de las primeras unidades, permitiendo que éste pueda identificar oportunidades de mejora, variantes en los productos, terminaciones o métodos. Para ello, las primeras unidades deben instalarse de forma temprana, previo a que el proveedor alcance un ritmo continuo de producción.
- Utilice la experiencia de los primeros prototipos para elaborar manuales, diagramas y sistemas que faciliten el aprendizaje durante la etapa inicial del proceso, minimizando así el tiempo de set-up. Apóyese de los modelos de la solución, fotografías y/o videos que faciliten el entrenamiento de la fuerza laboral.

6.2.6 Recomendaciones durante la fase de montaje

- Realice un control proactivo de los ritmos de avance y despacho para mantenerlos alineados. Busque constantemente minimizar el stock y los tiempos de inventario, regulando los tamaños de despacho y manteniendo la frecuencia.
- Planifique en adelante la recepción de las obras previas, para asegurar una cancha constante a los instaladores. Si el ritmo de recepción de obras previas es más rápido que la instalación,

es preferible aumentar la mano de obra empleada, abriendo nuevas secuencias de montaje en paralelo, que cambiar la frecuencia de despachos o comenzar a aumentar las tasas de inventario. Si lo anterior no puede realizarse, busque mantener la tasa de montaje, aunque esto implique que las obras previas pasen mayor tiempo recepcionadas antes de la instalación.

- Busque constantemente métodos de mejoramiento de la eficiencia operacional en la instalación. Esto puede lograrse mediante cambios en el método, procedimientos o la tecnología empleada. Busque evitar que se aumente el tamaño de la cuadrilla para mejorar la eficiencia, ya que esto disminuye los tiempos productivos de los trabajadores, aumentando el costo directo de construcción.
- En lo posible, incorpore el pre-armado de las soluciones como etapa previa al montaje, permitiendo que se reduzcan más aún las actividades en terreno. Es posible que el pre-armado requiera un aumento de stock en obra, en cuyo caso, el aumento de inventario deberá ser comparado como el aumento en la eficiencia operacional para determinar la conveniencia.
- Controle tempranamente la recepción de obras previas, de los elementos y del montaje, por medio de listas de chequeo y mecanismos de apoyo visual al control. Cuando sea posible, estandarice las medidas utilizadas para subsanar problemáticas de calidad encontradas tempranamente.

6.3 Sistemas de control recomendados para la fase de montaje

Dado que se busca alcanzar ritmos estándar de flujo continuo en la fase de montaje, es necesario controlar las tasas de variación de los flujos para cada actividad secuencial. Para ello, se recomienda utilizar el método de líneas de balance o gráficos de velocidad. Éstos utilizan una tasa estándar de avance por unidad de tiempo, representada por una línea recta en un plano bidimensional unidades-tiempo. Cada línea es controlada y comparada con la tasa real de avance por unidad de tiempo, dibujada sobre ésta para cada actividad, permitiendo identificar diferencias en el ritmo acumulado y también diferencias puntuales entre el avance previsto y real en un momento dado.

Controlar las actividades de preparación, recepción de unidades despachadas, montaje y recepción de obras, por medio de líneas equitativamente espaciadas entre ellas de acuerdo a un ritmo estándar, o bien, desfases en el inicio o término de las actividades según sus diferencias de ritmo, permitirá controlar que se mantengan los niveles de stock y tasas de avance presupuestadas. El control y registro sistemático de los avances reales permitirá tomar decisiones de modificación de ritmos o bien detectar cuándo se deben tomar medidas como la adquisición de un stock base, el aumento de recursos productivos o cambios en los plazos de recepción de obras. La Figura 20. presenta un esquema simplificado del control propuesto y la información que permiten identificar.

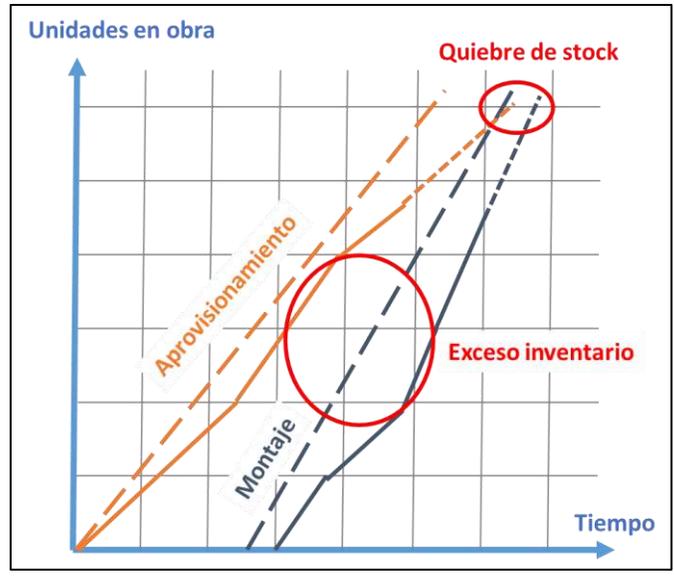


Figura 20. Ejemplo de esquema de control



7 CAPÍTULO 7: INSPECCIÓN TÉCNICA Y RECEPCIÓN EN OBRA

Contar con un resumen de las conformidades que debe cumplir una actividad o algún entregable (en este caso el elemento o componente industrializado o algún parcial), ayuda a que estos cumplan con los requerimientos de calidad exigidos además de los requisitos contractuales especiales, claves para favorecer y respetar los acuerdos básicos para la coordinación entre los actores del proceso completo de la construcción industrializada. Además, permite hacer control de fallas, identificando la etapa exacta en la que esta se produce.

7.1 Plan de Inspección

Para la inspección se debe cumplir los siguientes requisitos generales:

- Cumplimiento de la calidad de los elementos o componentes industrializados.
- Cumplimiento en los plazos para pago a proveedores y a constructora.

Para lograr esto, se propone una metodología de inspección que hace seguimiento a las actividades de las fases que agregan más valor al producto final: fabricación, logística y montaje (Tabla 24).

Tabla 24. Actores del proceso de Inspección.

	Inspector Interno de Calidad	Inspección Fiscal
Simbología	◆	▲
Función	Quién revisa el estado parcial de una actividad y representa a quién está realizando la actividad.	Quien revisa la calidad del elemento parcial obtenido al final de una actividad y representa a quién recibirá posteriormente el elemento industrializado
Ejemplo	Varía de la fragmentación y del grado de tercerización de los servicios intermedios (especialmente en fabricación, logística y montaje).	IFO (Inspector Fiscal en Obra, el cual fiscaliza la correcta ejecución de obra y cumplimiento de contrato de construcción, representa al Ministerio de Salud), ITE (inspección técnica de equipamiento), y todas las inspecciones pertinentes.

Con los actores de inspección ya definidos, se presenta ahora el diagrama de participación de estos a lo largo de las fases de un proyecto de construcción industrializada (Figura 21). Vale notar que los signos en color azul corresponden a chequeos de recepción de una fase, mientras que los signos en color rojo corresponden a inspecciones de calidad del trabajo en proceso.

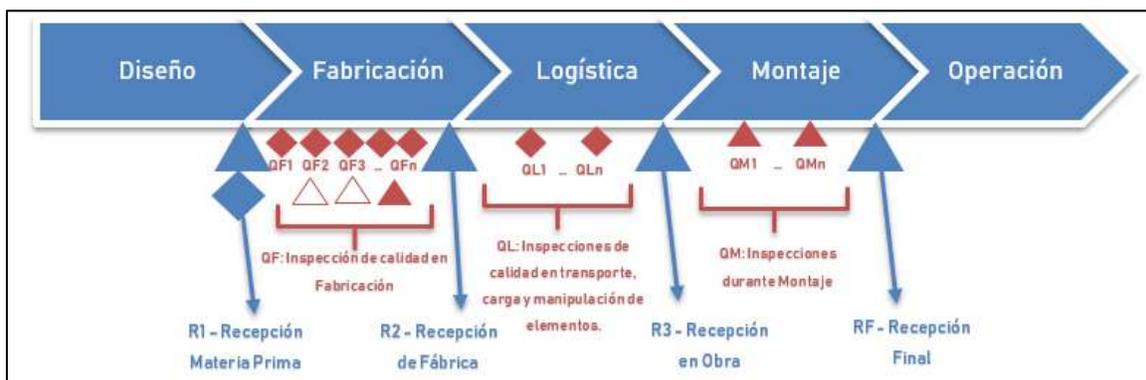


Figura 21. Diagrama de Proceso para Plan de Inspección

A continuación, en la Tabla 25 se detallan las actividades de inspección y quienes participan en ellas, las funciones y roles que deben desempeñar, además de los medios de verificación que pueden utilizar para esos efectos. Es importante saber que se trata de elementos referenciales. Estos pueden variar dependiendo de los requerimientos específicos que puedan nacer del MINSAL.

Tabla 25. Actividades de inspección

Inspección	Participante	Descripción	Medio de verificación
R1 – Recepción de Materia Prima	IFO e Inspector Interno Fabricante.	En este punto, el IFO revisa que estén todos los materiales comprometidos con los fabricantes para que ellos	- Checklist recepción de Materiales
QF – Inspección de Calidad de Fabricación	Inspector Interno	El inspector va revisando las actividades en la medida que estas van acabando para luego dar el visto bueno para la siguiente actividad de fabricación.	- Checklist de calidad para cada actividad de fabricación
	IFO	El IFO chequea las actividades de fabricación que, a lo largo del tiempo han demostrado tener más fallas de calidad al realizar el R2 – Recepción de Fábrica.	- Ensayos de laboratorio - Ensayos de materiales
R2 – Recepción de Fábrica	IFO	Una vez terminado un elemento o componente industrializado en fábrica, el IFO chequea la calidad de este para luego ser recepcionado finalmente. En caso de que no haya conformidad, entrega una lista con comentarios para remate. Este paso se repite hasta que haya conformidad para recepción.	- Checklist fabricación elemento o componente industrializado
QL – Inspección de Calidad de Logística	Inspector Interno de Transporte	El inspector interno va haciendo seguimiento de las actividades de carga, descarga, transporte y manipulación, siguiendo las precauciones y recomendaciones dadas con el objetivo de que este no reciba perturbaciones, golpes o deformaciones que alteren sus condiciones antes de ser transportadas.	- Checklist de seguridad - Checklist de cuidados transporte - Checklist de cuidados en carga y descarga - Checklist de cuidados en almacenamiento
R3 – Recepción en Obra	IFO	El IFO chequea si los elementos o componentes industrializados llegaron en buenas condiciones a obra.	- Checklist fabricación elemento o componente industrializado
QL – Inspección de Calidad de Logística	IFO	El IFO va realizando seguimiento de las actividades de juntado de componentes en obra y/o montaje de elementos o componentes industrializados en el proyecto. Además verificará constantemente el estado correcto de almacenaje de ser necesario y todas las condiciones previas para el montaje.	- Checklist de seguridad - Checklist de montaje - Checklist de condiciones de almacenaje
RF – Recepción Final	IFO	El IFO chequea que el elemento esté correctamente instalado y con las terminaciones posteriores que se deben hacer en su calidad correcta.	- Checklist recepción final

Las recepciones marcan el cierre de una fase y el inicio de la siguiente. Se trata de un trámite en el que se verifica si el elemento o componente industrializado en producción va cumpliendo con la calidad requerida, dando el paso hacia la fase siguiente. Esto, debido a que esta verificación permite garantizar a la fase siguiente que la responsabilidad absoluta del cumplimiento de los requerimientos y especificaciones dependen totalmente del actor que ahí participe.

Además de las recepciones al final de cada fase, existe una recepción final o definitiva, la cual permite verificar si el elemento o componente industrializado cumple o no con las expectativas contractuales en cuanto a diseño, fabricación, plazos y otros aspectos administrativos.

7.1.1 Generalidades para Recepción de Diseño

Una vez finalizada esta fase, la recepción debiese estar enfocada en:

- Verificar restricciones de diseño.
- Verificar solicitudes de fabricación para diseño.
- Verificar solicitudes de montaje para diseño.
- Verificar solicitudes de transporte (logística) para diseño.
- Verificar que exista información generada completa por diseño.
- Verificar cumplimiento de alcance de diseño.
- Verificar dimensiones críticas.

7.1.2 Generalidades para Recepción de Fabricación

Previo al inicio de la fase de fabricación, el fabricante debe contar con las siguientes herramientas:

- Lista de Materiales.
- Plan de Ensayos de laboratorio.
- Cuadro de control con resultados de ensayos de materiales.

7.1.3 Generalidades para Recepción en Obra

En rigor, se asume que la recepción y aceptación de las condiciones de diseño y fabricación de los elementos o componentes industrializados se realiza en esta última fase y debiera estar lista para poder ser montada en obra. No obstante, es posible que el elemento o componente trasladado, manipulado o transportado genere algún daño o deterioro. Es por esto que se recomienda identificar los puntos más críticos del elemento en cuestión, para que, a través de un *checklist*, se pueda verificar que los que van llegando se van a aceptar o no, siendo esto último regulado según la relación contractual entre las partes (fabricante y constructor).

7.1.4 Generalidades para Recepción Definitiva

La recepción definitiva es la última verificación de cumplimiento del elemento o componente entregado y montado en obra. Aquel cumplimiento sirve para cambiar el estado de reconocimiento por parte de los constructores, los cuales pueden tener garantías de que están cumpliendo, incluso con una solución tercerizada, con las exigencias normativas que hace la Dirección de Obras. Respecto de esta parte, se realizan las siguientes recomendaciones:

- Dado que se debe responder a exigencias contractuales, se recomienda generar documentos que certifiquen la recepción definitiva de los elementos acordados de fabricación.
- Contar con un sistema de inspección en base a la trazabilidad permite llevar un control más ordenado y con mejor información a la hora de llegar a la recepción final.
- Se recomienda enlistar todos los requerimientos contractuales con cada uno de los actores del proceso productivo.
- Debe quedar claro en los certificados de recepción definitiva la individualización de las partes interesadas, quienes participaron de la aprobación, el alcance de la recepción y los documentos que se anexan con el documento.

7.2 Aspectos claves para inspección

El objetivo práctico de la inspección y verificación es registrar la conformidad con los aspectos regulatorios, con el diseño, del producto construido y con los procesos de fabricación y construcción. Para obtener una inspección clara, válida y efectiva de las actividades y entregables, los aspectos clave a considerar son (Monash University, 2017)⁴¹:

- a) Contar con examinación organizada, usando tecnologías tales como:
 - Detección visual
 - Detección inteligente utilizando sensores (para logística).
 - Muestreo de especímenes de probetas
- b) Contar con observaciones relevantes y con información completa para un resultado específico.
- c) Contar con un proceso de medición en base a indicadores válidos del proyecto. El equipamiento de inspección debe calibrarse de acuerdo a los requerimientos del fabricante.
- d) Contar con personal calificado para realizar la inspección según reglamentación requerida o según indicaciones contractuales.
- e) Contar con un inspector independiente del proceso de fabricación.
- f) Contar con trazabilidad de las entradas consolidada en un registro documentado de inspección.
- g) Contar con un registro único de inspección.

⁴¹ Monash University. (2017). Handbook for the Design of Modular Structures.

Los sistemas de control para la inspección deben estar ajustados a la norma ISO9001:2015 de Sistemas de Gestión de Calidad, el cual permite la mejora continua de los sistemas de gestión de calidad, además del de la capacidad operacional de los procesos con el objetivo de asegurar el cumplimiento cabal de las expectativas del usuario final (ISO9001, 2015)⁴². En esta norma se entrega el detalle de los puntos de espera, testimonio y de revisión apropiados para tener una medición más eficiente de la calidad. Específicamente en el capítulo de Mediciones y Monitoreo se describen los usos de los Planes de Inspección y Verificación (ITP en inglés), Registros de Inspección y Verificación (ITR en inglés) y los *checklists* de inspección. Específicamente para los aspectos esenciales los ITP's, se detalla a continuación (Tabla 26) la secuencia de su declaración (Monash University, 2017)⁴³:

Tabla 26. Secuencia de declaración de un ITP.

Declaraciones ITPs	
1	Títulos y descripciones claras para el ITP
2	Qué inspección debe hacerse (haciendo referencia a cualquier checklist)
3	Módulo de trabajo al que se relaciona el ITP
4	Cuándo se requiere la inspección (el ITP debe establecerse para reflejar la secuencia constructiva)
5	Frecuencia con la que se recogerán las muestras.
6	Alcance de la prueba o verificación requerida.
7	Criterios de aceptación que la inspección debe cumplir.
8	Referencia relacionada a una declaración de método de trabajo y siguiendo la secuencia de trabajo donde sea posible.
9	Mencionar personas responsables de la inspección.
10	Definición de puntos de inspección (revisión, testimonio y revisión), además del registro de cualquier acuerdo.
11	Anotar cualquier precedente requerido.
12	Cualquier requerimiento para completar los ITR's o checklist con tal de formar parte de la documentación tal cual como fueron construídos. (Según naturaleza).
13	Estado y revisión de documentación.

Respecto a los ITR's, estos son la documentación formal en donde se registra la inspección y los datos de testeo. El formato de los ITR's es una plantilla controlada para demostrar el cumplimiento de los criterios de aceptación (dados por requerimientos normativos, técnicos o contractuales). Para sentar las bases de la mejora continua, estas plantillas deben estandarizarse para un seguimiento más sencillo y comparable a lo largo del tiempo y proyectos. Los elementos de inspección esenciales incluyen los siguientes (Tabla 27):

⁴² International Standard Organization (2015) ISO9001: Sistema de Gestión de Calidad.

⁴³ Monash University. (2017). Handbook for the Design of Modular Structures.

Tabla 27. Secuencia de declaración de un ITR.

Declaraciones ITRs	
1	Descripción de elemento de inspección con planos o dibujos de referencia.
2	Método de inspección.
3	Registro de Nombre, fecha y firma de persona responsable de llevar a cabo la inspección.
4	Criterios de aceptación y referencia.
5	Registro y referencia de inspección u observación realizada (marcando los elementos no aplicables como "N/A")
6	Documentación y control.

Todos los resultados obtenidos deben ser registrados clara y estandarizadamente para que, al momento de hacer el ingreso a los ITRs, se sepa de inmediato si existe conformidad o no. A pesar de que los Checklists y los ITR's pueden contener la misma información de inspección, la diferencia está en que el primero se hace en base a una casilla de verificación para el visado, mientras que el segundo requiere contar con resultados de los testeos reales realizados.

En caso de que no se haga una correcta evaluación del cumplimiento de un resultado, entonces el registro en el ITR debe notificar de inmediato aquella anomalía, para tomar medidas correctivas en un plazo que no afecte a la producción y con capacidades y personal calificado para completar las evaluaciones faltantes.

El carácter de la prefabricación instalada en la construcción industrializada, sumado a la adaptación del DfMA que se propone en esta guía, hace que haya un mayor foco de atención en la Fase de Diseño. Esto porque se puede acomodar la inspección en las fases venideras (como la de Fabricación, Logística y Montaje). Un ejemplo de esto es que en la fase de diseño pueden considerar espacios suficientes para que pueda ubicarse un inspector al momento de hacer el montaje del elemento industrializado en cuestión. Otro ejemplo es la posibilidad de implementar las prácticas de *Lean Manufacturing*, ya que desde la Fase de Diseño hay más posibilidades de producir mejoras considerables en los resultados de productividad, tanto de los procesos como la calidad del producto final.



8 CAPÍTULO 8: REGULACIONES

Se presentan a continuación las normas, reglamentos y guías que apoyan el criterio para el diseño de elementos o componentes industrializados para Proyectos de Obras Hospitalarias.

8.1 Para Criterios de Diseño

- Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones.
- Ley General de Urbanismo y Construcciones.
- Código Sanitario.
- Normas chilenas (NCh) del Instituto Nacional de Normalización (INN) aplicables.
- Recomendaciones del Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile.
- Instrucciones y Recomendaciones de los fabricantes de los materiales y equipos.
- Ley N° 19.284 que "Establece normas para la plena integración social de personas con discapacidad".
- Orientaciones Técnicas Para Diseño de Anteproyectos de Hospitales Complejos del Ministerio de Salud.
- Guía de Accesibilidad Universal – Ciudad Accesible.
- Decreto Supremo N° 594. Reglamento Sanitario sobre Condiciones Sanitarias y Ambientales Básicas en los Lugares de Trabajo.
- Normas técnicas básicas para la obtención de autorización sanitaria de establecimientos asistenciales.
- Normas técnicas básicas para la obtención de la autorización sanitaria de las salas de procedimientos y pabellones de cirugía menor.
- Norma técnica básica de autorización sanitaria para establecimientos de salud de atención cerrada.
- Listado Oficial de Comportamiento al Fuego de Elementos y Componentes de la Construcción.
- Otra normativa vigente aplicable en la República de Chile.
- NCH 3357:2015 Diseño sísmico de componentes y sistemas no estructurales.

- ASHRAE Applications Handbook: Selección de aisladores de vibración de acuerdo a este criterio internacional, lo que permitirá proteger a los equipos y generar un confort acústico al evitar la transmisión de vibraciones hacia la estructura del edificio.
- Manuales internacionales de productos de sistema de aislación.

8.2 Para Criterios de Especialidades

8.2.1 Electricidad

- NCh Eléctrica 4/2003, Electricidad. Instalaciones Interiores de Baja Tensión.
- NCh Eléctrica 2/84, Electricidad. Elaboración y Presentación Proyectos.
- DFL N° 4/20.018 de 2007. Decreto con Fuerza de Ley que fija Texto Refundido y Sistematizado del DFL N° 1 de 1982, Ley General de Servicios Eléctricos en Materia de Energía Eléctrica.
- DS N° 327. Ley Gral de Servicios Eléctricos, en Servicios Eléctricos.
- NSEG 3. E.n. 71, Electricidad. Instalaciones de Corrientes Fuertes.
- NSEG 6. E.n. 71, Electricidad. Cruces y Paralelismos de Líneas Eléctricas
- NSEG 8. E.n. 75, Electricidad. Tensiones Normales para Sistemas e Instalaciones.
- NSEGTEL 14. E.n. 76, Electricidad. Empalmes Aéreos.
- NCh Eléctrica 10/84 Electricidad. Trámite para la Puesta en Servicio de una Instalación Interior.
- NCh Eléctrica 12/87 Electricidad. Empalmes Aéreos Monofásicos.
- NCh 2893/1-2004, Equipos Electromédicos - Requisitos de seguridad.
- Norma Técnica Básica para la Autorización Sanitaria de Establecimientos de Salud, en que establecen requerimientos mínimos de número de enchufes en algunas áreas de pacientes, en especial para las salas de Cuidados Intensivos y Pabellones.
- NFPA 70, Código Eléctrico Nacional - EE.UU.
- NFPA 99, Recintos Asistenciales - EE.UU.
- NCh 3359:2015 Requisitos para edificaciones estratégicas y de servicio comunitario, norma basada en la NTM 003 de 2013.

8.2.2 Obras Sanitarias

- Reglamento de Instalaciones Domiciliarias de Agua Potable y Alcantarillado, Superintendencia de Servicios Sanitarios.
- Decreto 418, Decreta normas oficiales de la república.
- Reglamento de la Ley General de Servicios Sanitarios. Decreto Obras Públicas N°1.199 de 2004.
- Ley General de Urbanismo y Construcciones, y Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones.
- D.S. 236 de 1926. Reglamento General de Alcantarillados particulares.
- NCh 2459.Of2000 - Instalación de medidores remarcadores de agua potable fría de 3, 5, 7 y 20 m³/h de caudal máximo.

- NCh 691. Agua Potable – Conducción, regulación y distribución.
- NCh 1333. Of1978. Requisitos de calidad del agua para diferentes usos.
- NCh2485. Of2000. Instalaciones domiciliarias de agua potable. Diseño, cálculo y requisitos de las redes interiores.
- NCh 2794. Of2003. Instalaciones domiciliarias de agua.

8.2.3 Instalaciones de Climatización

- ASHRAE 2007 (American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers) y su actualización ASHRAE2011.
- UNE 100713 de 2005: Instalaciones de acondicionamiento de aire en hospitales, España.
- UNE 171330 de 2008: Calidad Ambiental en Interiores para áreas generales de hospitalización, habitaciones de hospitalización generales, áreas de servicios ambulatorios, hospital de día, consultas externas, áreas administrativas y de servicios, áreas administrativas y unidades de apoyo médico.
- UNE 171340 de 2012: Validación y cualificación de salas de ambiente controlado en hospitales, para habitación de infecciosos, habitación de entorno protegido (inmunodeprimidos u otros), áreas de obstetricia, áreas críticas, quirófanos, unidades de cuidados intensivos (UCI), áreas de apoyo, áreas de diagnóstico y tratamiento, unidades de diagnóstico por imágenes, unidades de nuevas tecnologías médicas y laboratorios.
- Ordenanza General de Urbanismo y Construcción OGUC.
- Norma Sísmica para Equipos Mecánicos NCh433.Of96.
- UNE 60601 de 2006: Instalación de Calderas a Gas para Calefacción y/o Agua Caliente.
- UNE EN ISO 14644: Norma para Salas Limpias y ambientes controlados.
- UNE-EN 779 de 2003: Filtros de aire utilizados en ventilación general para eliminación de partículas. Determinación de las prestaciones de los filtros.
- UNE-EN 1822-1 de 2010: Filtros absolutos (HEPA y ULPA).
- UNE-EN 13180: Ventilación de edificios. Conductos. Dimensiones y requisitos mecánicos para conductos flexibles.
- UNE-EN 100012 de 2005: Higienización de sistemas de Climatización y Ventilación.
- Recomendaciones para el Diseño y Construcción de Establecimientos para el cuidado de la salud, AIA (American Institute of Architects), última publicación.
- Normas Técnicas de Farmacias (Preparación de medicamentos antineoplásicos, preparación de medicamentos parenterales y preparación de medicamentos endovenosos), del MINSAL.
- Norma Técnica básica para la Autorización Sanitaria de Establecimientos de Salud del MINSAL, en la cual se establecen requerimientos de calidad del aire y temperaturas en algunas áreas de pacientes, en especial para las salas de Cuidados Intensivos y Pabellones.
- Normas Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC), referida a combustibles líquidos y gaseosos y a las instalaciones eléctricas propias de climatización.

- NFPA 30, de 1996. Código de líquidos inflamables.

8.2.4 Normas y regulaciones de seguridad

A continuación, se presenta un listado de normas y regulaciones recomendadas para gestionar las condiciones a las que están expuestas los trabajadores con el objetivo de prevenir los riesgos por concepto de escasa seguridad e higiene.

- Decreto Supremo 40 - Reglamento sobre prevención de riesgos profesionales: Se establecen normas que rigen la aplicación del título VII, sobre prevención de riesgos profesionales Ley 16.744. Además, entrega normas para aplicación de artículo 184 del Código del Trabajo.
- Decreto Supremo 594 - Reglamento de condiciones sanitarias y ambientales protocolos del Ministerio de Salud (MINSAL): Establece condiciones de sanidad y ambientales que deberá cumplir toda obra.
- Normas de la Ley 20.123 de Subcontratación que busca regular la seguridad en obra para trabajadores de servicios subcontratados.
- Circular 2345 Superintendencia de Seguridad Social (SUSES0): regula las obligaciones que tiene el empleador en la obra en caso de accidente grave o fatal.

PARTE 3: APLICACIÓN DE LA GUÍA

1 CARACTERÍSTICAS DEL PROTOTIPO Y PROCESO DESDE DISEÑO A RECEPCIÓN DE MÓDULO DE BAÑO DE ACCESO UNIVERSAL

En esta sección se aborda el diseño inicial, las consideraciones tomadas, las decisiones asociadas al proceso de DfMA y las características finales del baño de acceso universal prototipado.

1.1 INTRODUCCION

Los baños modulares se han convertido en un método de prefabricación popular para los equipos de diseño y construcción de proyectos hospitalarios en todo el mundo, debido a los potenciales ahorros de plazos.

Debido a su pequeño tamaño y gran cantidad de especialidades involucradas los baños modulares son una buena experiencia para iniciarse en la prefabricación e industrialización, ya que requerirá coordinar a varios actores para desarrollar el diseño y fabricación.

Por ejemplo, el uso de baños modulares en el proyecto St. Joseph Heritage Hospital en Denver, Estados Unidos se redujo el cronograma del proyecto en 10 semanas prefabricando los 440 baños de la instalación.

En el caso de este proyecto el costo directo de las unidades reales fue más caro, un 6% más, pero el ahorro de costos se produjo producto de la disminución de los costos indirectos relacionados con menores plazos de ejecución en terreno, lo que redujo el costo indirecto asociado.

Baños públicos de accesibilidad universal en recintos hospitalarios

Los baños de público en un recinto hospitalario se entienden como los que están destinados al público de todas las salas de espera que puedan existir en un establecimiento, para los servicios de atención ambulatoria, intermedia o cerrada. Los baños de público con accesibilidad universal se entienden como los servicios higiénicos de uso personal, sin distinción de género, que deben permitir el acceso de personas con discapacidad o en silla de ruedas, que podrán ser acompañadas por personas de cualquier género para ser asistidas. También podrán ingresar niños acompañados por familiares, o adultos mayores que requieran asistencia. Este baño debe contar con instalaciones específicas requeridas para su uso, tales como barras de apoyo para facilitar las maniobras de traspaso de la silla a los artefactos que así lo requieran y otras habilitaciones que permitan que la persona pueda ocuparlo autónomamente, o que pueda hacerlo asistida eventualmente por otra.

Un baño de accesibilidad universal de acceso independiente es también un baño familiar, que puede ser usado por la madre y/o padre y sus niños de manera cómoda e independiente. En su interior se recomienda la instalación de un mudador.

En documento "Orientaciones Técnicas Para Diseño de Anteproyectos de Hospitales Complejos" de MINSAL, indica que *"es rol del Estado garantizar la plena accesibilidad de las personas a los establecimientos hospitalarios a través del medio físico, la no discriminación a las personas con discapacidad y la adopción de medidas para eliminar los obstáculos a su participación en el entorno físico. El nuevo paradigma sobre discapacidad ya no centra su análisis en la condición de salud de la persona, como único elemento constitutivo de ésta, sino que nos llama a entender la*

discapacidad como el resultado de la interacción de esa deficiencia con elementos contextuales, como barreras del entorno y restricciones a la participación en la sociedad.”

En este contexto toman mucha relevancia el diseño y operación de los recintos de baños públicos con accesibilidad universal dentro de los recintos hospitalarios, ya que estos deberán cumplir como condición básica *“la eliminación de todo tipo de “barrera arquitectónica”, entendiéndose por éstas, toda suerte de impedimento, dificultad, obstáculo, y toda circunstancia que atente contra la participación, uso y goce de los espacios de cualquier persona, en la totalidad del espacio del Hospital, tanto en sus espacios interiores como exteriores.”(MINSAL, 2017)*

1.2 ETAPA DE DISEÑO

El decidirse por utilizar un módulo de baño prefabricado en un proyecto hospitalario, requiere cambios en el proceso de diseño que apuntan a incluir desde las etapas tempranas del diseño a los fabricantes, especialistas y constructores.

El nuevo proceso de diseño será intensivo e iterativo, ya que además de responder a los requerimientos funcionales y normativos tradicionales, deberá incorporar consideraciones propias de un sistema prefabricado, como son la estandarización del diseño, la modularización, y la coordinación temprana, entre otros.

Si no se toman estos resguardos será muy difícil implementar con éxito la inclusión de los baños modulares.

En esta etapa el eje central es el diseño de la modulación de los componentes que se fabricarán off-site y su estandarización. Este diseño se hace en base a un listado de requerimientos técnicos, normativos y reglamentarios. Esta etapa tiene enfoque DfMA, ya que al diseñar no solo debe considerar el módulo de baño en particular, sino que además debe considerar en el diseño la estructura autosoportante, la coordinación con las instalaciones y el diseño del proceso de ensamblaje o montaje y el transporte.

Las características de esta etapa del proceso son:

- i. Asegurar el cumplimiento de las funcionalidades y calidad del producto
- ii. Simplificar el diseño, por medio de la reducción de piezas y estandarización de componentes
- iii. Mejorar la fabricación, disminuyendo las operaciones

Las etapas que se siguieron para abordar el diseño del prototipo del baño con accesibilidad universal fueron los siguientes.

- A) En primer lugar, se especificó el baño, en términos de sus funcionalidades y características, catalogadas en requisitos y deseables. En esta etapa se definió realizar un baño de accesibilidad universal familiar, el que incluye mudador y el espacio suficiente para que accedan padres con sus hijos.
- B) Posteriormente, se realiza la etapa de DfA, consistente en la modulación del producto en componentes y luego el diseño de cómo se coordinarán los distintos componentes.

- C) En tercer lugar, se realiza el DfM, consistente en el diseño de las operaciones de montaje y producción.
- D) Finalmente, se prototipo virtualmente la solución para comprobar hipótesis de producción, montaje y optimización del producto.

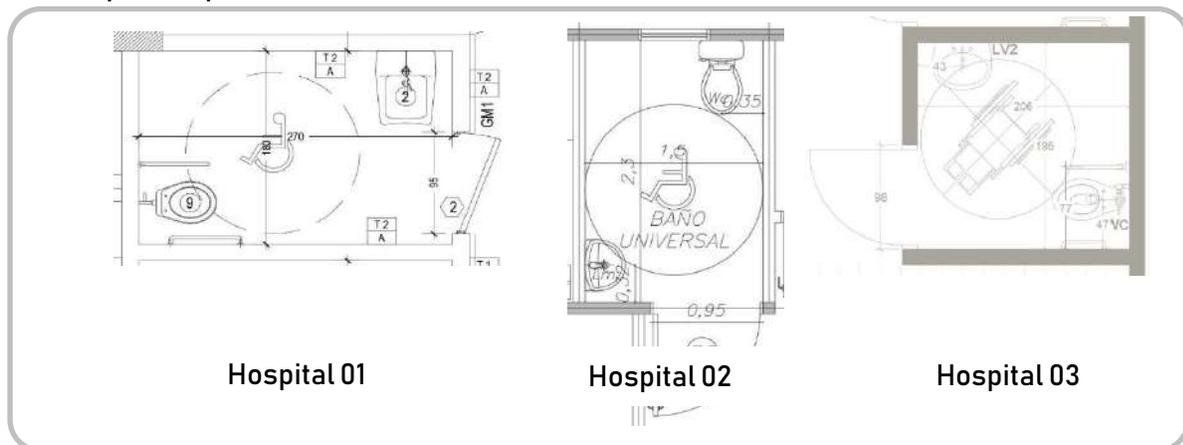
1.2.1 Especificaciones de requerimientos funcionales, normativos/técnicos y criterios deseables.

La funcionalidad del recinto está dada principalmente por dos definiciones fundamentales, la primera son las dimensiones, y la segunda la distribución (ubicación del acceso y su relación con los artefactos sanitarios).

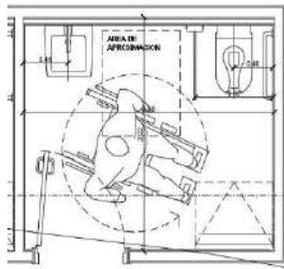
La primera actividad realizada fue un diagnóstico de las tipologías posibles y como estas se utilizaban en los distintos proyectos, es decir el estado de la práctica. Para esto tomaron ejemplos de 10 proyectos hospitalarios desarrollados en los últimos años en Chile.

El análisis arrojó 3 tipologías distintas y puso en evidencia la poca estandarización que existe tanto en términos de dimensiones como de distribución. A continuación, se observa el extracto obtenido de los planos de planta de cada proyecto analizado, agrupados en 3 tipologías según sus características.

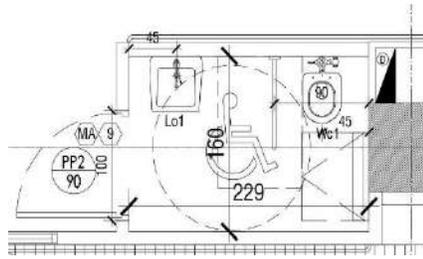
- i. Ubicación de puerta de acceso frente al WC con los artefactos ubicados en 2 muros, en esquinas opuestas.
 - ii. Ubicación de artefactos sanitarios en un solo muro, dejando área de aproximación y traspaso entre lavamanos y WC
 - iii. Ubicación de artefactos sanitarios en dos muros, a un mismo costado.
- i. Ubicación de puerta de acceso frente al WC con los artefactos ubicados en 2 muros, en esquinas opuestas.



- ii. Ubicación de artefactos sanitarios en un solo muro, dejando área de aproximación y traspaso entre lavamanos y WC.



Hospital 04

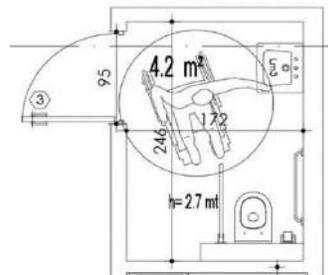


Hospital 05

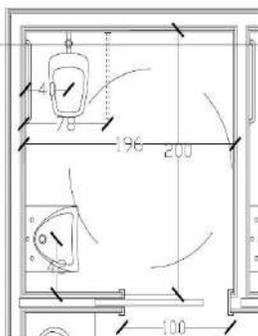
iii. Ubicación de artefactos sanitarios en dos muros, a un mismo costado.



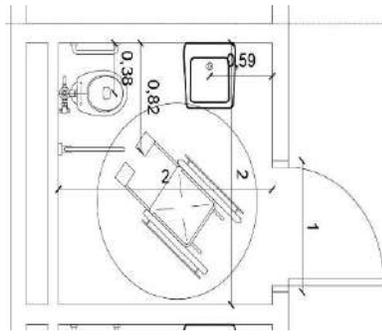
Hospital 06



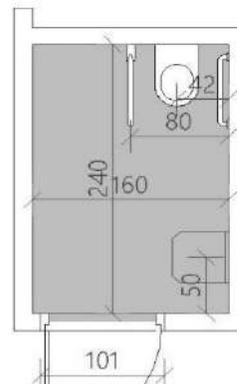
Hospital 07



Hospital 08



Hospital 09



Hospital 10

La segunda actividad es la verificación de la normativa y requerimientos en términos de dimensiones y funcionalidades.

Si bien se puede se puede afirmar que las dimensiones de un baño de estas características pueden ser variables, existen criterios mínimos.

El Artículo 4.1.7 Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones, que fija las condiciones de accesibilidad de en edificios de uso público, indica que sus características serán las siguientes:

- a) Las dimensiones y distribución de artefactos en su interior deberán contemplar una superficie que permita giros en 360° de una silla de ruedas, considerando para ello un diámetro de 1,50 m. Dicho diámetro podrá incluir el área bajo el lavamanos, para lo cual éste no podrá contemplar pedestal u otro elemento que impida o dificulte dicho giro, o la aproximación frontal de una persona con discapacidad en silla de ruedas.
- b) La puerta de acceso consultará un vano de mínimo de 0,90 m con un ancho libre mínimo de 0,80 m y abrirán preferentemente hacia el exterior. En caso de abrir hacia el interior, el barrido de la puerta no podrá interferir con el radio de giro señalado en la letra precedente. Solo en casos fundados, o cuando el servicio higiénico esté incluido en un recinto que contenga otros, podrá utilizarse puerta de corredera.
- c) La instalación de los artefactos deberá considerar los siguientes requisitos:
 - El lavamanos deberá estar ubicado a una altura de 0,80 m medida desde el nivel de piso terminado dejando un espacio libre bajo su cubierta de 0,70 m que permita la aproximación frontal de una persona usuaria de silla de ruedas.
 - La grifería deberá ser de palanca, de presión o de acción automática mediante sistema de sensor y no podrá estar instalada a más de 0,45 m del borde del artefacto. El espejo deberá estar instalado a una altura máxima de 3 cm del punto más alto de la cubierta o del lavamanos.
 - El inodoro deberá contemplar al menos un espacio de transferencia lateral y paralelo a este artefacto, de al menos 0,80 m de ancho por 1,20 m de largo que permita la aproximación lateral de un usuario en silla de ruedas. La altura de asiento del inodoro será de 0,46 m a 0,48 m, medida desde el nivel de piso terminado.

Cuando el inodoro se instale junto a un muro, el eje longitudinal de este artefacto deberá estar a 0,40 m del muro. En este caso se deberá proveer una barra recta de apoyo fija en el muro a un costado del inodoro. Al otro costado, que corresponde al espacio de transferencia lateral, se deberá proveer de una barra abatible ubicada a 0,40 m del eje longitudinal del inodoro.
 - Ambas barras deberán ser antideslizantes, tener un diámetro entre 3,5 cm y de un largo mínimo de 0,60 m. y estarán ubicadas a una altura de 0,75 m, medida desde el nivel de piso terminado.

Cuando a ambos costados del inodoro se provea de este espacio de transferencia lateral, ambas barras serán abatibles, teniendo las mismas características, dimensiones, ubicación y altura señaladas en el párrafo precedente.
 - Los accesorios de baño tales como jabonera, toallero, perchero, dispensadores de papel absorbente, secador de manos, deberán ser instalados a una altura máxima de 1,20 m y no podrán obstaculizar la circulación o el giro de una silla de ruedas al interior del baño, ni la transferencia hacia el inodoro.

- Si contase con botón de emergencia, éste estará instalado sobre los 0,40 m de altura. Los accesorios para el inodoro deberán estar a no menos de 0,40 m y a no más de 0,80 m de altura. Todas estas alturas serán medidas desde el nivel de piso terminado.

Complementariamente, se utilizó el documento “Orientaciones técnicas para diseño de anteproyectos de hospitales complejos” de MINSAL, y la Guía de accesibilidad universal de Ciudad Accesible,

La siguiente figura tomada de la Guía de Consulta de Accesibilidad Universal reúne los requisitos en un esquema gráfico.

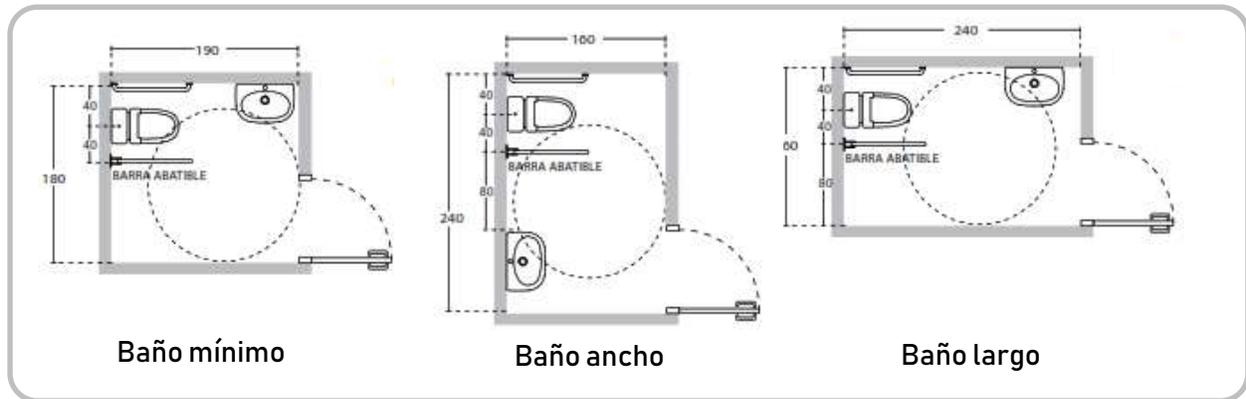


Figura 22. Medidas mínimas y distribuciones

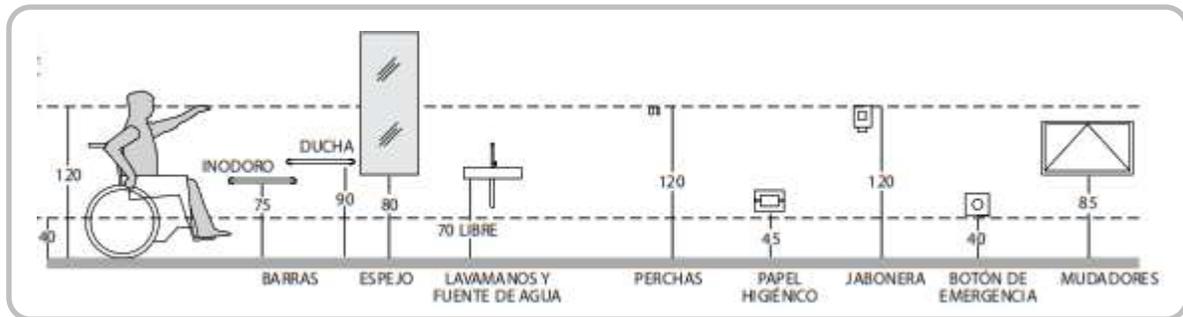


Figura 23. Ubicación de accesorios

Como criterio deseable se estableció conveniente utilizar la distribución con artefactos en muros perpendiculares ya que esta opera como la mejor opción funcional para el usuario en silla de ruedas, ya que permite un acceso directo y sin movimientos adicionales de la silla para llegar hacia la zona de traspaso contigua al WC.

Esta distribución parece ser la más flexible con respecto la ubicación de los artefactos, la zona de traspaso, shaft, instalaciones, pasillos, acceso, y recintos colindantes.

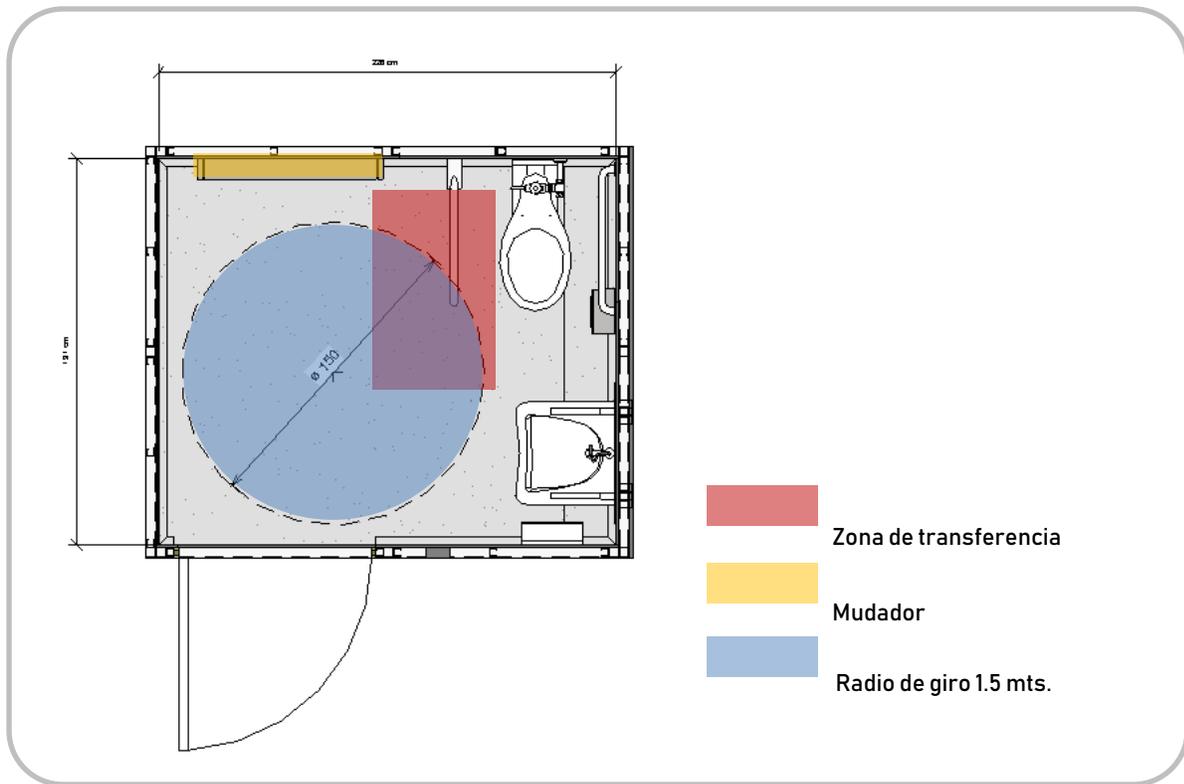


Figura 24. Esquema funcional propuesto

Este esquema funcional propuesto permite un cierto grado de flexibilidad en la ubicación del módulo de baño con respecto al resto de los recintos colindantes. El poder contar con dos muros en los cuales ubicar la puerta de acceso, permite emplazar el módulo en dos direcciones, adaptándose al diseño arquitectónico del proyecto.

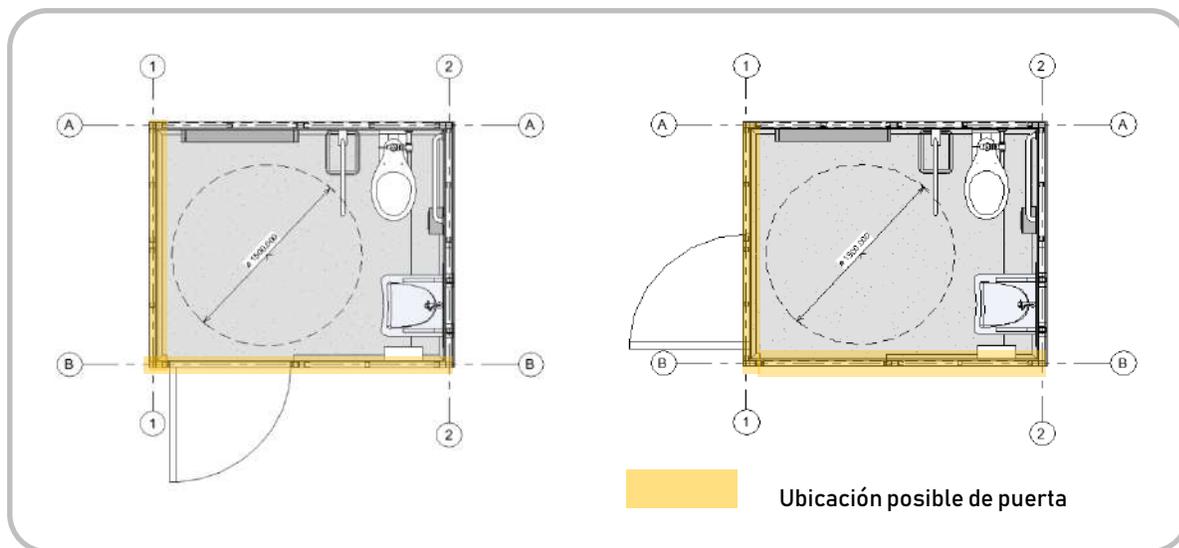


Figura 25. Esquema de ubicación de puerta

De la misma manera el esquema funcional permite ubicar los shaft y las conexiones de descargas hasta en cuatro posiciones distintas. Por otra parte, las conexiones que vienen desde las matrices para alimentar el recinto pueden ingresar por dos sectores, coincidente con la ubicación de la puerta de acceso.

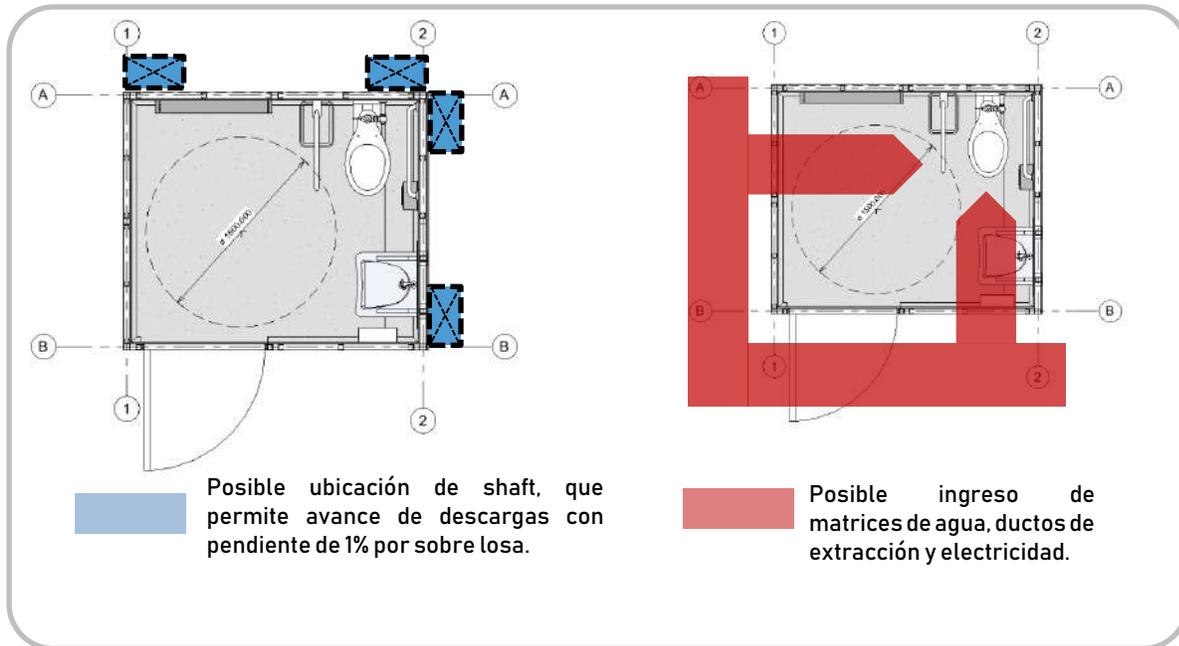


Figura 26. Esquema de ubicación de shaft y conexiones de descargas

Desempeño deseable del recinto

A continuación, se presenta una tabla con el desempeño deseable del recinto desde distintos puntos de vista.

Tabla 28. Desempeño deseable del recinto

Capas	Descripción /Especificación por desempeño
Estructura Principal	<p>Se debe considerar una estructura firme y resistente, capaz de absorber impactos de distinta índole, sin colapsar. Debe ser autosoportante y dúctil, sin que su forma se pueda ver dañada o modificada en el tiempo.</p> <p>La estructura principal debe presentar altas condiciones de durabilidad, y en el caso de requerir alguna mantención, esta debe ser fácil de ejecutar.</p> <p>La elección de la estructura principal debe estar avalada por un proyecto de cálculo y por la certificación de un especialista en cálculo.</p>

Estructura Secundaria	En caso de ser necesario, se debe considerar una subestructura liviana, capaz de contener en su interior elementos de aislación acústica, y ser el soporte de posibles revestimientos de muro. Puede ser también posible que esta subestructura funcione como barrera acústica. Las características técnicas de la subestructura elegida deben estar certificadas por el proveedor. En caso de que la estructura principal cumpla con los desempeños antes mencionados, la subestructura podrá no ser necesaria.
Refuerzos estructurales	Se debe tener en cuenta el uso de refuerzos estructurales en lugares donde podrán ir suspendidos distintos elementos o artefactos sanitarios, que puedan estén sometidos a cargas variables (como barras de apoyo fijas o abatibles, lavamanos, u otros). El diseño de estos refuerzos debe estar certificada por un especialista en cálculo.
Aislación Acústica	Se debe considerar la instalación de un elemento que funcione como aislante acústico. Debe ser un material liviano, y con una buena flexibilidad, que permita un rápido y fácil dimensionamiento para la instalación. Debe ser incombustible, resistente e inalterable en el tiempo, no debe absorber humedad, ni ser conductor de electricidad. El material elegido debe contar con una ficha técnica certificada por su proveedor.
Revestimiento estructural de muros	Dependiendo de la estructura principal y subestructura utilizada para desarrollar el módulo, se deberá considerar la instalación de un elemento que separe el interior y el exterior del recinto. Este material debe ser instalado por el interior del recinto, debe ser sólido y tener características estructurales que permita soportar el peso de otros elementos, como por ejemplo otros revestimientos de terminación o artefactos de distinta índole. Por otra parte, también debe tener resistencia a la humedad y ser fácilmente modulable, dependiendo de los tamaños variables que pueda tener el módulo a construir. El material a seleccionar debe contar con todas las características mencionadas anteriormente certificadas por su proveedor. La elección de este material debe orientarse a disminuir la cantidad de operaciones de fabricación, por lo que se sugiere los materiales en grandes formatos.
Revestimiento terminación de muros	Se debe considerar la instalación de un elemento de terminación interior que sea resistente al agua y otros fluidos, como productos químicos para limpieza u otros. También al ser la terminación de un baño, debe ser resistente a microbios y bacterias. Por otra parte, debe ser estanco y resistente al uso, y en caso de daño, permitir una fácil y rápida reparación. Se debe tener en cuenta además que el material sea liviano, para no aumentar mucho el peso total del módulo a construir. Otro aspecto importante para tener en consideración es que para la instalación del material de revestimiento interior probablemente se deba utilizar un adhesivo particular, el cual debe ser especificado por el proveedor del material. Además, se debe tener cuidado en las terminaciones y encuentros, tanto del mismo material como con otros (como pavimentos, por ejemplo). El material a seleccionado debe contar con todas las características mencionadas anteriormente certificadas por su proveedor. La elección de este material debe orientarse a disminuir la cantidad de operaciones de fabricación, por lo que se sugiere los materiales en grandes formatos como planchas rollos.
Estructura piso	Se debe tener en cuenta una base estructural delgada y resistente, que disminuya al mínimo la diferencia entre el pavimento de piso interior y exterior. La definición de esta estructura debe estar certificada por un especialista en cálculo. También se debe tener en cuenta que esta estructura deberá recibir la terminación de piso por lo que probablemente deberá recibir un tratamiento de nivelación.

<p>Revestimiento terminación piso</p>	<p>Se debe considerar la instalación de un material de terminación para pisos, que debe ser resistente al agua y otros fluidos, como productos químicos para limpieza u otros. Debe ser resistente a microbios y bacterias. También debe presentar una alta resistencia al tránsito de personas.</p> <p>Por otra parte, debe ser estanco y en caso de daño, permitir una fácil y rápida reparación. Se debe tener en cuenta además que el material sea liviano, para no aumentar el peso total del módulo a construir. Se privilegiará los materiales en grandes formatos que disminuyan la cantidad de operaciones de fabricación.</p> <p>Otro aspecto importante para tener en consideración es que la instalación del material probablemente requerirá utilizar un adhesivo particular, el cual debe ser especificado por el proveedor del material.</p> <p>Además, se debe tener especial cuidado en las terminaciones y encuentros, tanto del mismo material como con otros (como revestimiento de muros, por ejemplo). Dado el tipo de recinto, se debe instalar un retorno sanitario en el punto de unión entre piso y muro, el cual será del mismo material especificado. El material a seleccionar debe contar con todas las características mencionadas anteriormente certificadas por su proveedor.</p>
<p>Sistema de cielo</p>	<p>El sistema de cielo debe ser de un material resistente a la humedad, y con un sistema de soporte con resistencia a esfuerzos sísmicos.</p> <p>Al igual que el resto de los materiales se privilegiará los sistemas que impliquen menos operaciones en la fabricación y montaje.</p> <p>El sistema seleccionado debe estar certificado por su proveedor.</p>
<p>Artefactos y elementos sanitarios</p>	<p>Se debe contar con los siguientes artefactos sanitarios:</p> <ul style="list-style-type: none"> - WC con fluxómetro y con descarga de 4,8lts. - Lavamanos mural con frente cóncavo. - Grifería de lavamanos con palanca para movilidad reducida, aireador y regulación de temperatura. - Barra fija abatible de acero inoxidable, antivandálica, de máxima robustez y con sistema de freno progresivo incorporado. - Barra fija de acero inoxidable. - Espejo, que permita proporcionar una visibilidad completa para las personas que utilicen silla de ruedas. - Dispensador de papel higiénico. - Dispensador de jabón. - Mudador. - Botón de emergencia. <p>La ubicación de todos estos artefactos deberá considerar como base lo estipulado en el artículo 4.1.7. de la O.G.U.C.</p>

1.2.2 DfA modularización de las dimensiones y partes

Después de escogido el esquema funcional y el desempeño deseable de los materiales y accesorios, se debe proceder a uno de los puntos importantes para que este diseño tenga potencial de industrialización, la modularización de medidas y partes. Esta tarea permitirá estandarizar el diseño.

Para este caso se inició el proceso con un diseño que concebía las dimensiones mínimas para cumplir con la normativa y funcionalidad requerida.

1.2.2.1 Diseño inicial

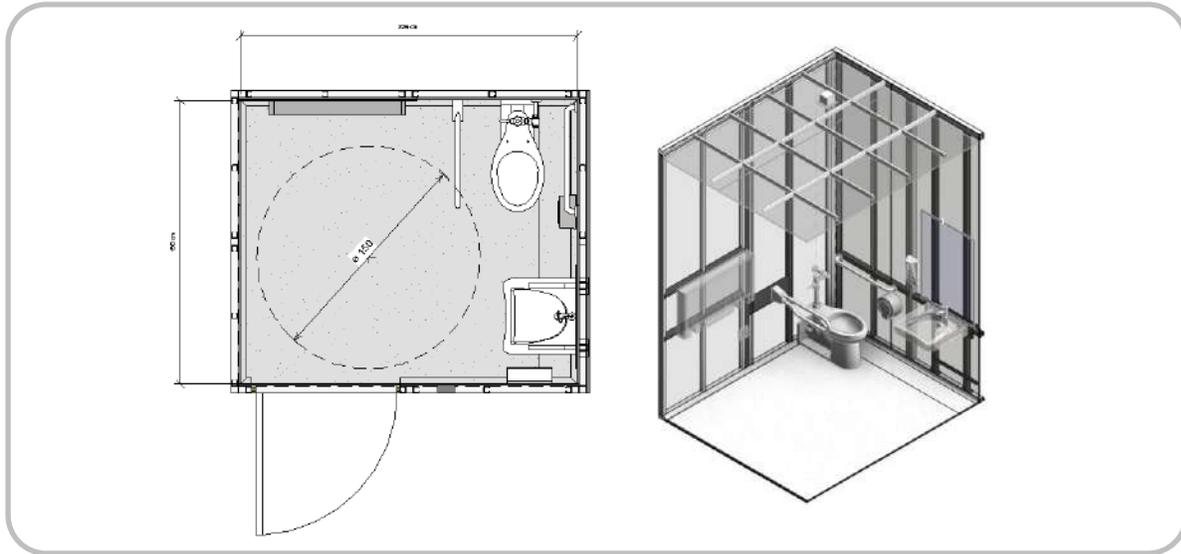


Figura 27. Primer diseño. Baño accesible y familiar 190 x 225 cm

Al inicio del primer diseño se establecieron algunos criterios que apuntaban al desempeño que debía cumplir el recinto y las características de la materialidad, siempre con foco en disminuir las pérdidas y la cantidad de operaciones en el proceso de fabricación y montaje, así como también a disminuir el peso del módulo para facilitar el traslado de éste.

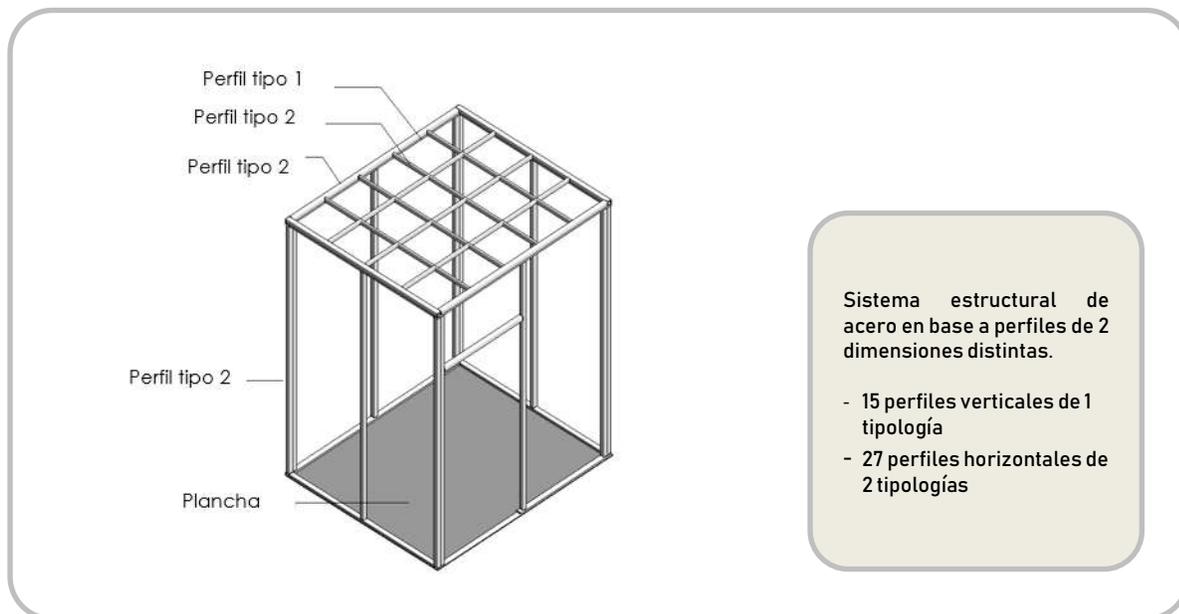


Figura 28. Estructura diseño inicial

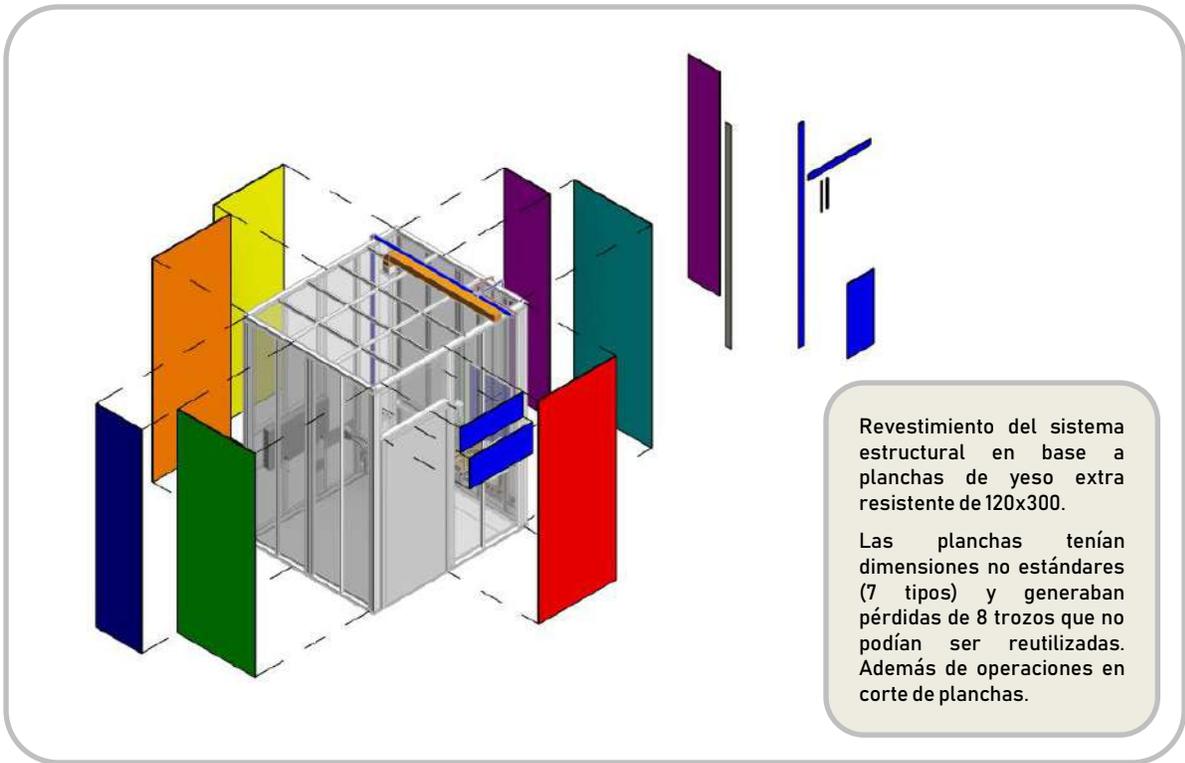


Figura 29. Revestimiento de Estructura de muro diseño inicial

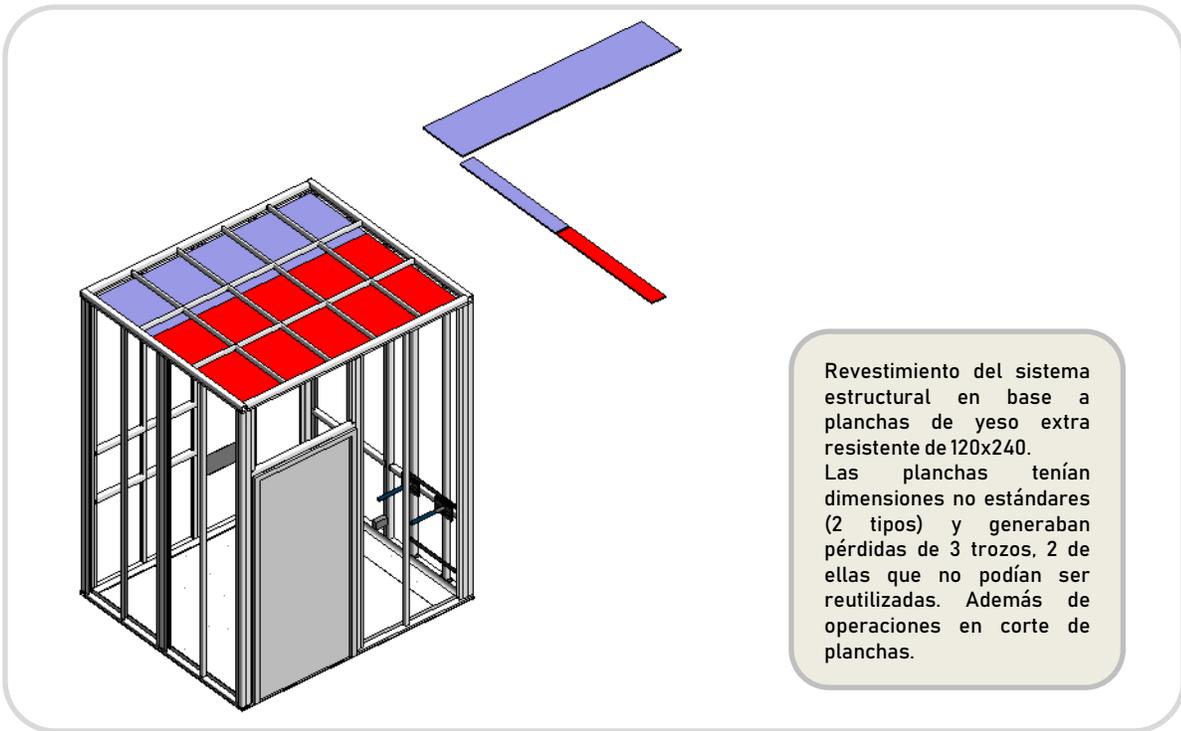


Figura 30. Cielos diseño inicial

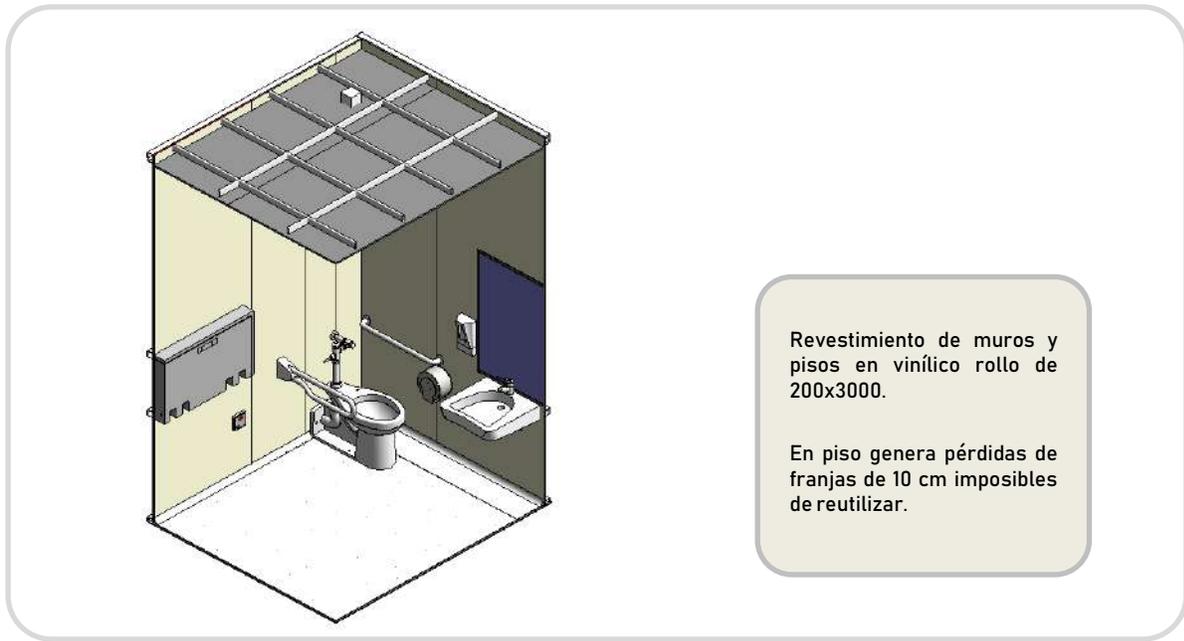


Figura 31. Revestimiento de muros y pisos diseño inicial

1.2.2.2 Diseño modularizado con optimización de partes

Para modularizar el diseño inicial se analizó según los materiales propuestos y las dimensiones óptimas de uso cual era la mejor alternativa.

Para esto se evaluaron 8 alternativas distintas y se seleccionaron 2. Los escogidos fueron los módulos de baños de 200x240 cm y el de 160x240 cm, Este último hacía difícil plantear el baño como de uso familiar, por lo que se optó por trabajar el módulo de 200x240 cm.

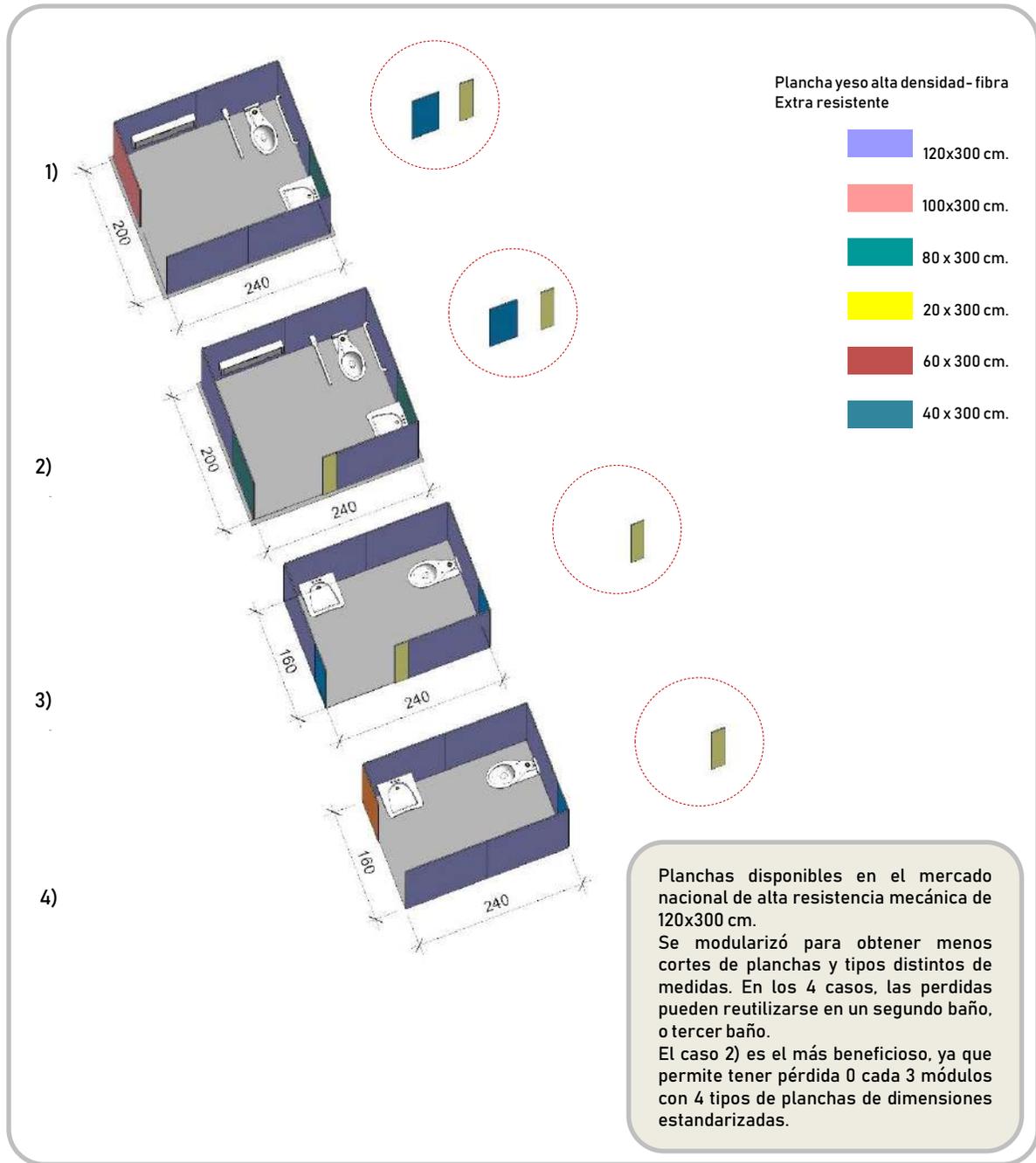


Figura 32. Optimización de partes en muros. Alternativas 1 a la 4

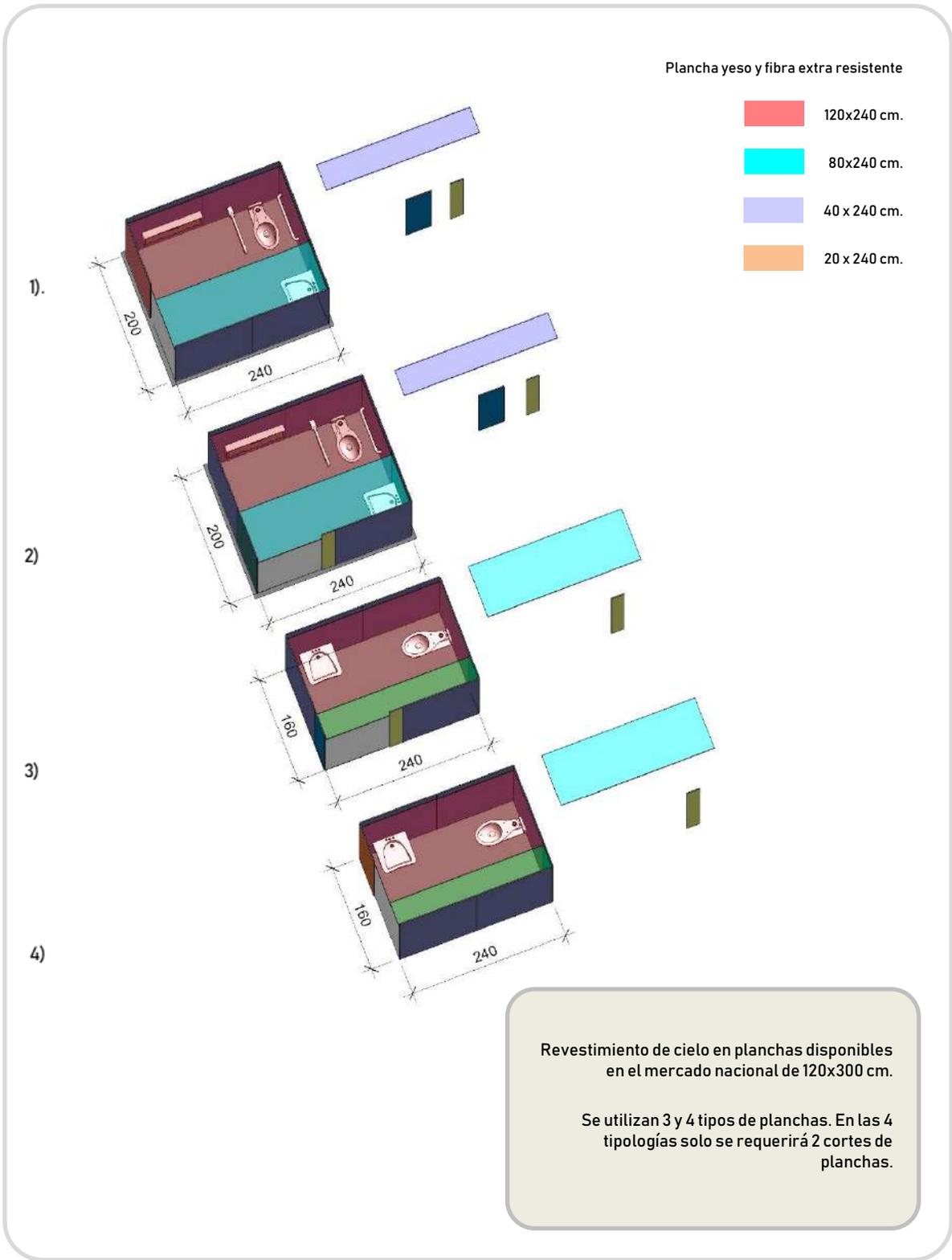


Figura 33. Optimización en partes de cielos. Alternativas 1 a la 4

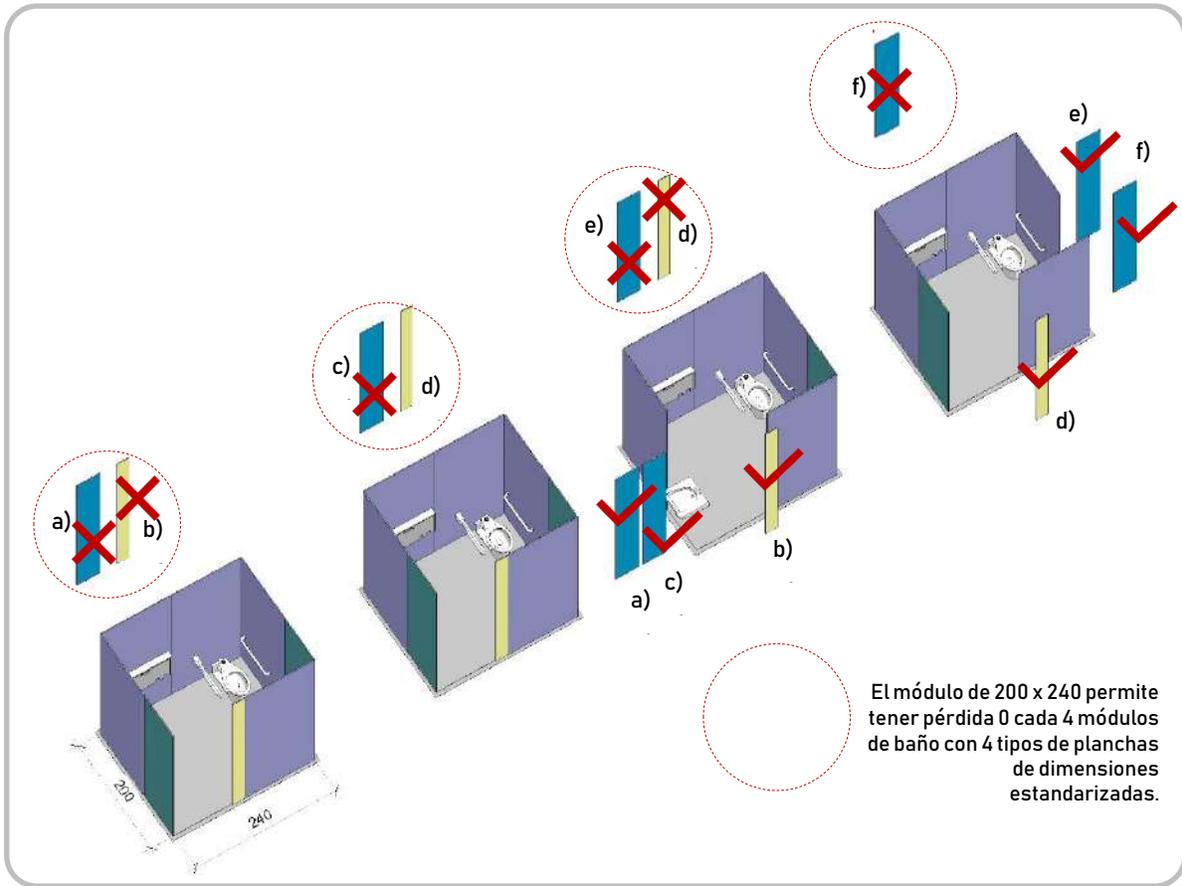


Figura 34. Optimizaciones planchas de tabiquería. Módulo de baño 200x240

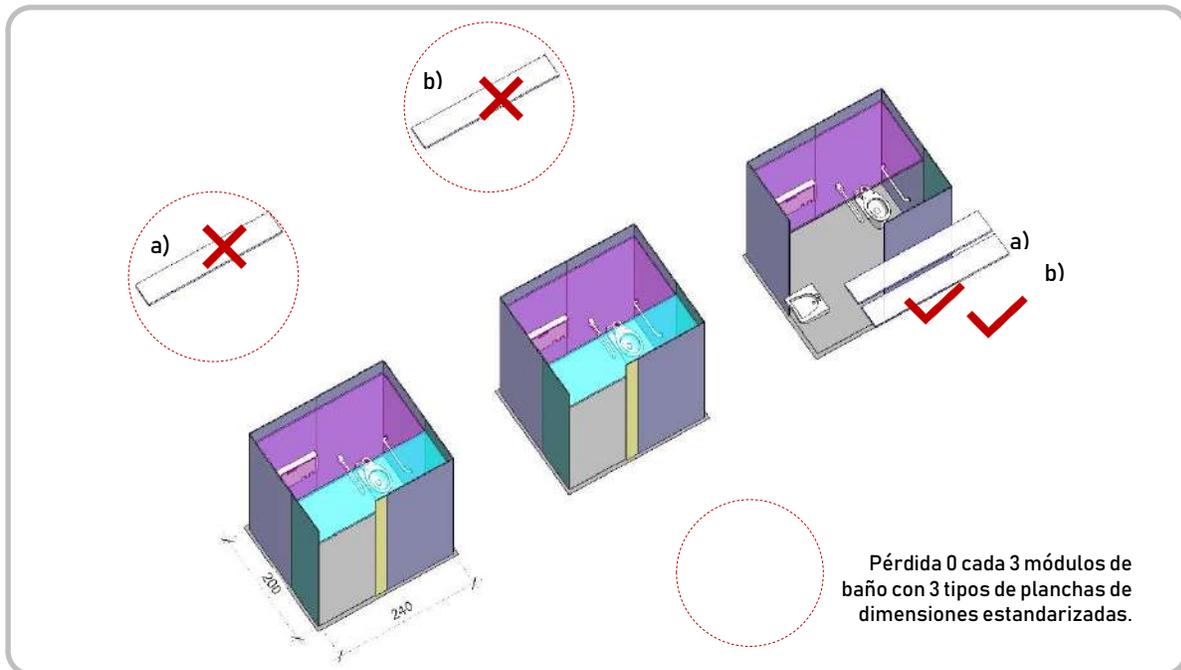
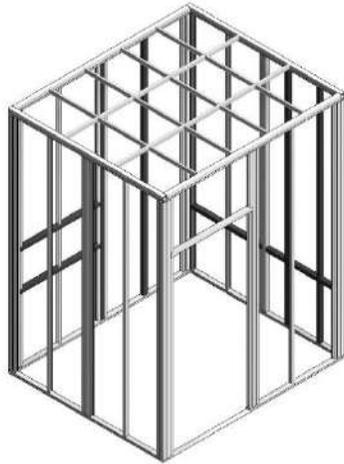
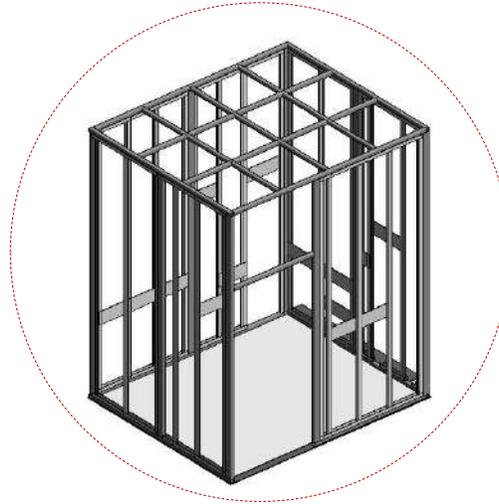


Figura 35. Optimización planchas cielo. Módulo de baño 200x240



Opción sin optimizar

Verticales 12 perfiles acero - 105kg
 Horizontales 18 perfiles de acero - 73 kg
 Horizontales 9 perfiles - 41 kg
 42 unidades con 219 kg totales
 Plancha acero 307 kg
 Unidades totales 43



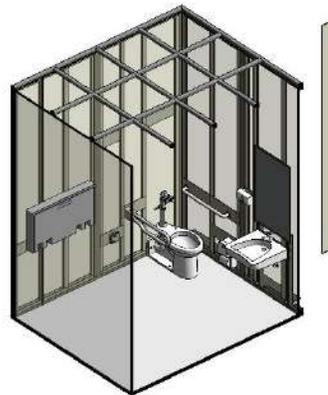
Opción optimizada

Verticales 8 perfiles rectangulares - 125 kg
 Horizontales 20 perfiles de acero - 95 kg
 28 unidades con 220 kg
 Plancha acero 307 kg
 Unidades totales 29

Figura 36. Optimización estructura. Módulo de baño 200x240



Opción sin optimizar



Opción optimizada

Figura 37. Optimización revestimiento de piso y muro vinílicos

1.2.2.3 Especialidades

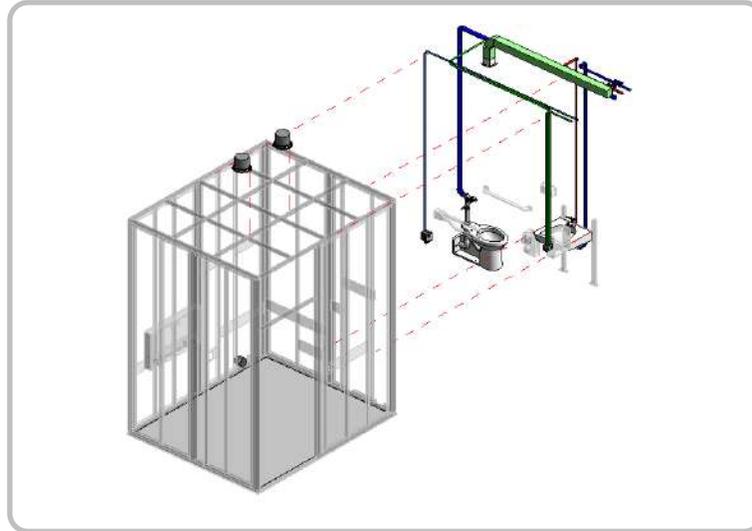


Figura 38. Axonométrica desplegada con instalaciones

Para la definición del diseño de especialidades se deben tomar en consideración los siguientes criterios.

Con respecto a las instalaciones mínimas necesarias, estas deben responder al funcionamiento de los artefactos presentes en el recinto, es decir el WC y el lavamanos. En este sentido serían necesarios 2 puntos de agua fría, un punto de agua caliente y 2 puntos de descarga sanitaria.

El módulo debe ser flexible y debe tener la posibilidad de conectar las descargas a más de una ubicación de shaft para esto se debe verificar si la pendiente permite el avance por sobre la losa. Se debe agregar también que cada artefacto debe tener su propia llave de paso.

Además de esto se debe considerar un extractor de aire, que necesitara de una conexión a ductos de extracción y un punto eléctrico para su funcionamiento.

Por otra parte, será necesario también al menos otro punto eléctrico y un interruptor para luz artificial. Es recomendable que tanto la Luz Artificial como los Extractores se activen con sensor.

Se deben tener consideraciones además con otros elementos, tales como ventanas, en caso de que el baño este diseñado con ventana hacia el exterior.

Se debe tener en cuenta también que tipo de griferías serán utilizadas. Por ejemplo, la grifería para lavamanos debe ser con aireador, y debe poder dejar solo un pulsador con el que se pueda regular la temperatura, y mezclar Agua Fría y Agua Caliente antes de llegar a los flexibles.

Con respecto al WC, se debe pensar siempre en artefactos con fluxor y con descarga de 4.8lts. Por otra parte, se sugiere no utilizar estanque. Otro punto importante a tener en cuenta es que, en la mayoría de los proyectos, las redes de agua vienen desde el cielo del recinto.

1.2.2.4 Diseño final

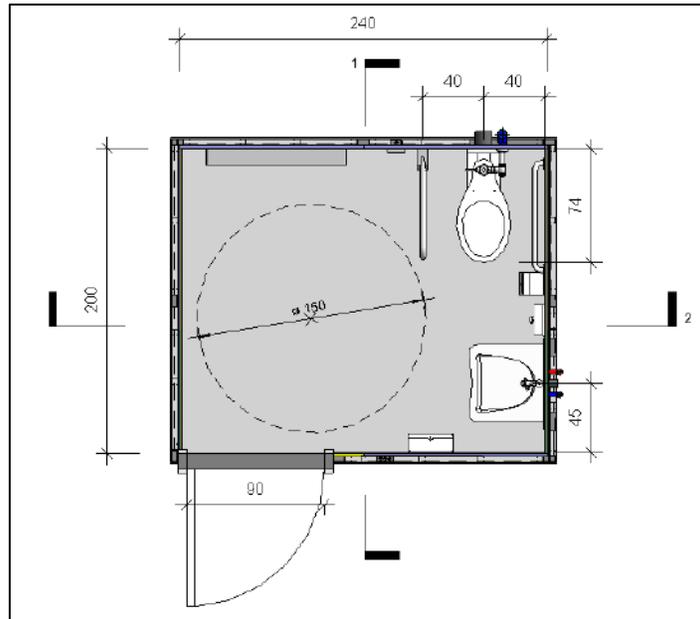


Figura 39. Planta (sin escala)

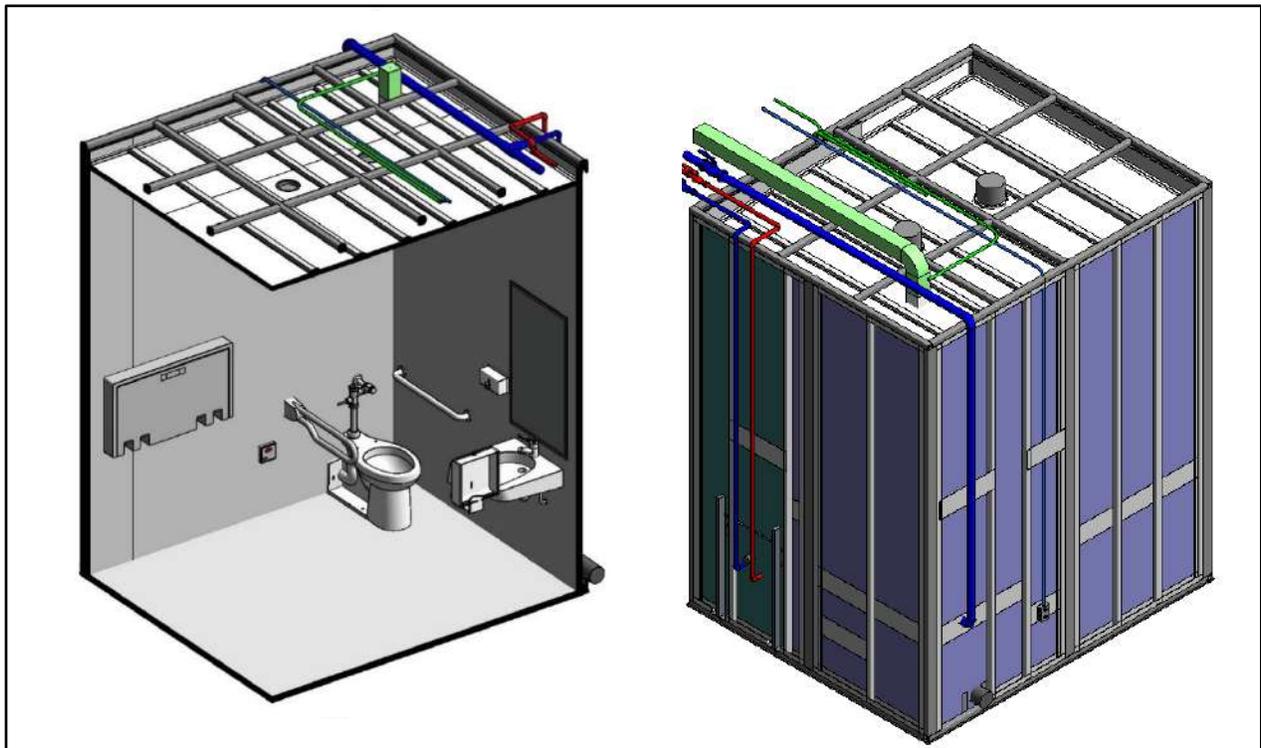


Figura 40. 3D (sin escala)

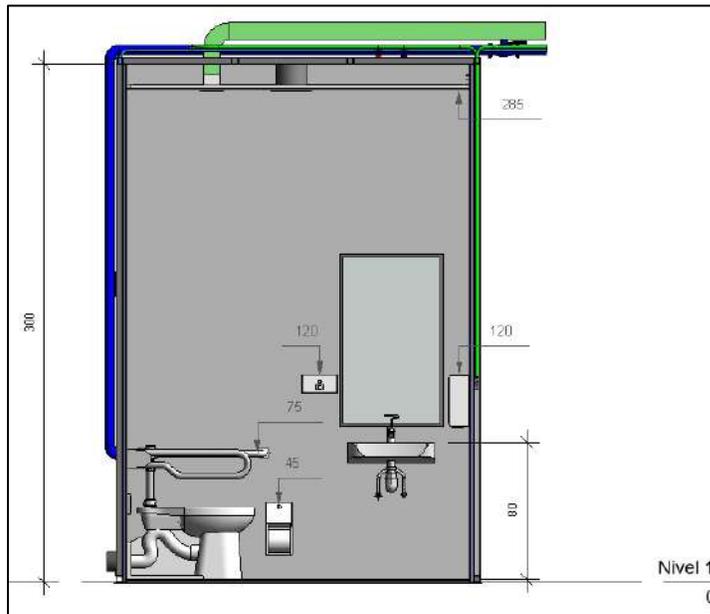


Figura 41. Corte 1 (sin escala)

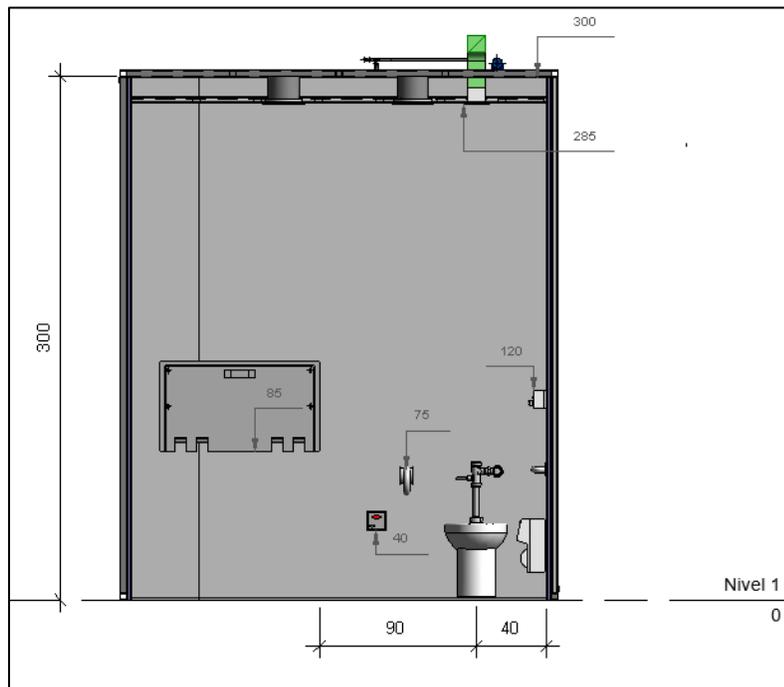


Figura 42. Corte 2 (sin escala)

1.3 ETAPA DE PLANIFICACIÓN INICIAL DE OBRA

Los baños prototipados han sido conceptualizados considerando la integración a una estructura de infraestructura hospitalaria tipo, compuesta de losas libres de hormigón armado en módulos de 8 m x 8 m, soportadas por pilares y machones de hormigón estructural, con luces de al menos 4 metros entre sí y alturas entre losa similares a 4 m. Aun así, el módulo es compatible con otros módulos y programas arquitectónicos, incluso siendo compatible con rehabilitaciones de obra existente, en caso de que éstas cuenten con luces acorde a las dimensiones del elemento.

Un aspecto clave a considerar en la planificación inicial es que el módulo tiene una superficie de 4,8 m² de planta, con un ancho mínimo de 2 m y una altura de 2,9 m. Por ende, al momento de incorporarlo en el diseño, se deberá planificar el momento de instalación o presentación in situ de acuerdo a la secuencia constructiva, de manera de asegurar que no existan limitantes para su introducción a la infraestructura, su manipulación y transporte dentro de ésta, así como su posicionamiento en la ubicación final. Esto implica, que deberá considerarse la logística de los elementos a la hora de planificar partidas como envolventes, cierros, tabiques y muros.

Dadas las condiciones base, se consideró conveniente que el elemento se anclara a losa y muros o pilares estructurales, se conectara a instalaciones sobre cielo falso y sus descargas fueran conectadas a shafts sobre nivel de piso. Esto permite que las instalaciones, terminaciones de cielo y shaft adyacentes se realicen antes o después de la incorporación del elemento. Aun así, se recomienda contar con todas las instalaciones preparadas previo al montaje del elemento para que así, una vez conectado, se puedan realizar las pruebas de la sección durante la recepción de calidad.

El elemento tiene una altura entre cota inferior y nivel de piso de aproximadamente 5 cm. Por ende, será necesario considerar un rebaje de cinco centímetros en la sección de losa soportante del elemento, con respecto al nivel de piso, o bien, considerar la incorporación de una cuña de ajuste en pendiente para el acceso al baño, ya que el acceso al baño universal requiere estar a nivel de piso. Es recomendable planificar que el calce a nivel de piso se realice mediante ajustes en la terminación de pisos, en vez de planificar la ejecución de un desnivel de losa de 5 cm en la sección del baño, ya que esto último complicará la faena húmeda de hormigón, crítica en la obra gruesa.

En el extremo superior, el módulo incorpora un cielo falso a 2,9 m sobre el nivel de piso del módulo, por lo cual, si la cota inferior del cielo falso adyacente es superior a dicha altura, deberá considerarse la realización de un tabique in-situ para extender el muro del baño hasta la altura de cielo. No obstante, dado que las alturas de piso a piso en proyectos hospitalarios oscilan entre 3,5 m y 4,2 m, y que las cotas de cielo falso oscilan entre los 60 cm y 120 cm, el baño debería calzar con la altura de cielo de la mayoría de los proyectos.

Las tomas a cielo pueden conectarse en posición vertical o horizontal. Además, dado que las descargas a shaft pueden realizarse en los 4 sentidos, las tomas a matriz horizontales en cielo falso también pueden acomodarse a distintos sentidos, girando el módulo de baño sobre su eje. Aun así, es recomendable planificar que todas las acometidas de descargas en shaft e instalaciones sobre cielo sigan el mismo sentido y orientación, sobre un mismo eje, facilitando que todos los baños puedan ser instalados en la misma orientación y posición con respecto al muro, pilar o sección de losa donde se anclará.

Los módulos de baño no incluyen las caras exteriores de los tabiques instaladas, permitiendo que se adecuen espesores de muros, requerimientos de aislación y tipos de terminación en las caras

exteriores a las características y especificaciones del proyecto. No obstante, es posible también utilizar modulaciones similares a la modulación interior para producir de manera industrializada las placas de recubrimiento exterior de muros, con las terminaciones y características determinadas por el proyecto, facilitando la terminación del baño. Por último, en caso que se requiera aislar los muros y utilizar caras exteriores terminadas y producidas de forma industrializada, el contratista podrá utilizar mecanismos como el poliuretano proyectado, poliestireno expandido o poliestireno extruido para facilitar la terminación sin faenas húmedas o sucias.

1.4 ETAPA DE FABRICACIÓN

Dadas las características del módulo de baño de acceso universal, el elemento puede ser producido en una línea de montaje convergente. Es decir, que su producción puede ser dividida en 3 sub-componentes: Las caras interiores del módulo, la estructura soportante y las instalaciones. Las caras y las instalaciones son luego incorporadas al módulo estructural para montar finalmente los artefactos y terminaciones del interior del baño. La Figura 43. representa en un flujograma simplificado las actividades de la línea de producción convergente.



Figura 43. Actividades de la línea de producción convergente

1.4.1 Fabricación de la estructura de soporte

La estructura soportante se compone de 8 perfiles estructurales de acero en posición vertical, de 2,9 m de largo y 8 perfiles estructurales de acero en posición horizontal, 4 de 2 m de largo entre ejes y 4 de 2,4 m de largo entre ejes. A ésta, se le añade la placa de acero laminado de 8 mm que conformará la micro-losa soportante del piso de la estructura y posteriormente se le incorpora la estructura reticulada de cielo, previamente armada.

La estructura se monta, en primer lugar, soldando los 4 perfiles de acero que conformarán el piso de la estructura, en ángulos de 90° para conformar la base. Posteriormente se sueldan de manera equivalente los 4 perfiles horizontales en ángulos de 90° para conformar la estructura de cielo. Luego, se unen ambas estructuras electro-soldando los 4 perfiles verticales, formando así un cubículo base. Se recomienda el uso de un molde que fije las posiciones de los marcos, para asegurar el plomo de los ángulos y que tanto el marco base inferior como el superior tengan exactamente las mismas medidas y ángulos (ver Figura 44).

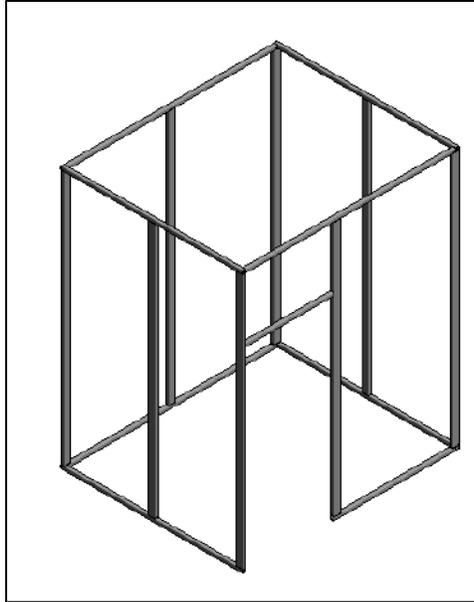


Figura 44. Estructura de soporte de tabiques

Posteriormente, se añade la placa base del piso, de acero laminado, que se une por medio de electro-soldado al marco de piso. Luego, se incorporan los 4 perfiles verticales restantes del marco auto-soportante, equidistantes entre los 4 perfiles ubicados en las esquinas del elemento. Una vez obtenido el cubículo estructural, se incorpora el reticulado de cielo, compuesto de perfiles de acero liviano pre-armados, los cuales se fijan por medio de pernos de anclaje a los 4 perfiles soportantes del cielo, obteniendo así el marco estructural del módulo (ver Figura 45).

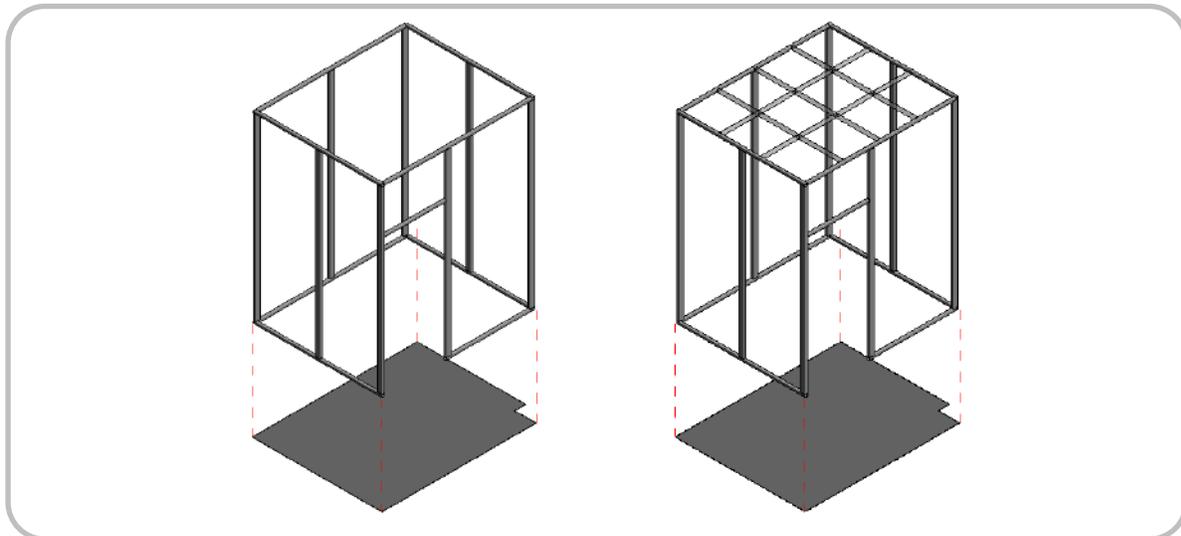


Figura 45. Estructura de soporte de cielo

Finalmente, se incorporan al marco estructural los montantes, compuestos de perfiles de acero liviano, que soportarán los artefactos e instalaciones del módulo. En este punto, se obtiene la estructura base, a la cual se anexarán los módulos de instalaciones, tabiques, artefactos y terminaciones.

1.4.3 Fabricación y montaje de las placas de muro y revestimientos

Las placas de muro han sido moduladas para evitar pérdidas de material cada cierto número de elementos producido. Estas pueden ser dimensionadas previamente, de manera independiente del montaje de la estructura, y luego pre-armadas, montándolas mediante perfiles de acero liviano que integran y fijan las uniones entre placas de un mismo muro (ver Figura 48).

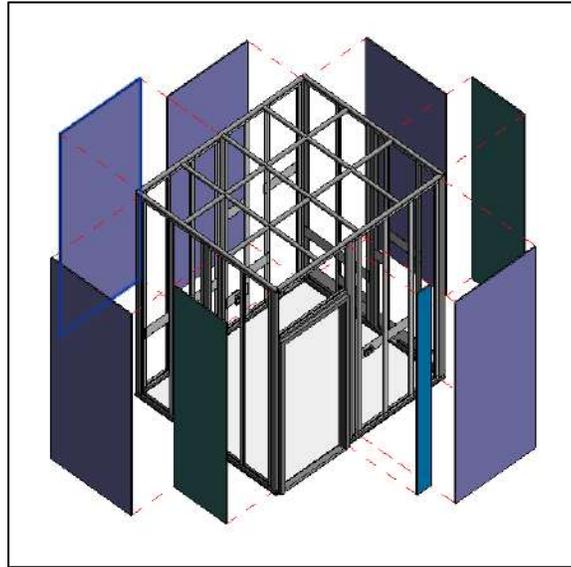


Figura 48. Montaje de placas de muro y revestimientos

Las placas de muro pueden luego ser presentadas a las caras laterales internas del módulo y fijadas por medio de pernos de unión entre los perfiles de cada cara de muro y los perfiles del marco estructural. Una vez instaladas las placas, se procede a la instalación de los revestimientos de cielo, muros y piso.

1.4.4 Montaje e instalación de artefactos y terminaciones

Tanto las placas como los revestimientos deben ser montadas incorporando previamente los vanos, salidas y conexiones requeridas para los artefactos y terminaciones, como interruptores, descargas del WC y fijaciones del mudador, entre otros. Estas se ejecutan durante la etapa de dimensionado de las placas y revestimientos.

Una vez instalados los revestimientos, se procede a la instalación de los artefactos, cajas y terminaciones como aplicaciones de luminarias. Finalmente, se verifican las conexiones de las instalaciones, cableado y otros previo a la recepción. Al finalizar, el elemento debe ser inspeccionado por calidad para recepcionar las partidas del interior del elemento y luego, el módulo de baño debe quedar clausurado y sellado hasta la instalación en obra. En este momento, se procede también a la protección del baño para su posterior manipulación.

1.4.5 Consideraciones generales para la fabricación

A continuación, se presentan consideraciones y recomendaciones para facilitar la producción, las cuales aplican a la generalidad del proceso de fabricación:

- La estructura del módulo pesa aproximadamente 500 kg, mientras que el módulo completo pesa aproximadamente 800 kg. Por ende, se recomienda que el módulo se monte sobre una base móvil, tipo carro de carga, que facilite mover el producto a través de la línea de producción.
- Las estaciones de trabajo deberán considerar anclajes que bloqueen el movimiento de la base. De esta forma, se evitan posibilidades de accidentes o condiciones de trabajo no seguro producto del movimiento involuntario o no controlado del módulo durante el procesamiento.
- Una vez armado el marco estructural soportante, es recomendable que éste se monte inmediatamente sobre la base panelizada rígida que será utilizada para el transporte. La base permitirá manipular el elemento en la planta y durante la carga, sin transmitir esfuerzos al módulo ni generar torsiones o flexiones que puedan dañar las terminaciones y/o conexiones.
- El tiempo de ciclo de producción es relativamente rápido comparado con la tasa de demanda (Un hospital promedio requiere alrededor de 300 baños en un plazo de 6 a 10 meses, mientras que el tiempo de ciclo de producción de un baño industrializado será de 3 a 6 días productivos). Por ende, se recomienda producir en lote único, es decir, no ejecutar la misma operación en más de un módulo de baño al mismo tiempo. Así, se minimizan los inventarios de trabajo en proceso y se mejora el tiempo de respuesta frente a cambios en la demanda.
- La sección más larga del ciclo de producción corresponde a la sección posterior a la convergencia de las operaciones independientes, es decir, desde la instalación de placas de muros, piso y cielo, hasta la terminación del elemento. Por ello, se debe supeditar el ritmo de las operaciones independientes (pre-armado de placas, armado estructura y pre-armado de instalaciones) al ritmo de la fase final de montaje en la línea de producción. Así, se minimiza el inventario de trabajo en proceso. Esto es particularmente relevante para el armado de la estructura soportante, dado que ésta ocupa 4,8 m² de espacio de inventario por marco estructural producido. Por ende, la estructura deberá ser producida *"Pull"*, es decir, sólo supeditada al requerimiento de montaje final.
- Las dimensiones de los elementos terminados dificultan el inventario de productos terminados, ya que éstos ocupan un espacio considerable de la planta (4,8 m² por unidad). Por ende, se recomienda que éstos sean producidos contra orden de despacho (Made To Order), manteniendo sólo un búfer de inventario mínimo requerido para cumplir con los ciclos de despacho manteniendo la producción MTO.

1.5 ETAPA DE LOGÍSTICA

En esta sección se presentan las consideraciones que deberán tomarse para la manipulación, izaje y transporte de los elementos, tanto en planta, como en ruta y en obra. Las consideraciones toman en cuenta tanto el peso de los elementos, como sus dimensiones y rigidez estructural.

1.5.1 Condiciones para la manipulación e izaje

A continuación, se presentan los aspectos a tener en consideración para la correcta manipulación tanto en planta como en obra de los módulos terminados, considerando su peso, dimensiones e integridad estructural.

1.5.1.1 Consideraciones asociadas al peso del módulo

En primer lugar, es necesario considerar que un módulo de baños tiene un peso neto aproximado de 800 kg. por lo que no puede ser manipulado sin la utilización de maquinaria de transporte e izaje. Además, dependiendo de los elementos utilizados para proteger el módulo durante la manipulación, el peso bruto de un paquete puede alcanzar pesos similares a 1 ton.

Dado su peso, el módulo es manipulable tanto por grúas torre como por grúas horquilla de capacidad similar a los equipos comúnmente utilizados en obras de edificación, pero constituye una carga pesada para la cual deben tomarse todas las condiciones de seguridad requeridas para la manipulación de cargas, particularmente en altura. En el caso de la manipulación del elemento en altura, será necesario considerar que algunas maniobras pueden requerir de la utilización de más de un equipo de izaje, para evitar movimientos y pérdidas de control durante el transporte. Por ende, se recomienda considerar la disponibilidad de un camión grúa que asista a las maniobras de izaje efectuadas por la grúa torre.

1.5.1.2 Consideraciones asociadas a las dimensiones del módulo

Por otro lado, las dimensiones del módulo son de 2,4 m de largo, por 2,0 m de ancho y 2,95 m de alto. Esto implica que los muros del elemento tienen hasta 7 m² de superficie, Dada dicha considerable relación cara-peso, será necesario considerar y planificar previo a la manipulación todas las medidas requeridas para evitar que las maniobras de izaje o transporte se vean afectadas por el viento, particularmente durante la manipulación en altura. Como se mencionó anteriormente, esto puede requerir la consideración de una grúa camión o equipamiento similar que apoye la labor de la grúa torre.

En cuanto a la base del elemento, su superficie de 4,8 m² supera las dimensiones tradicionales de pallets y bases de transporte utilizadas en obra. Por ello, se debe considerar la adquisición de bases palletizadas especialmente dimensionadas para el elemento, que hayan sido diseñadas para evitar flexiones o torsiones durante la manipulación.

Por último, las dimensiones del elemento deben considerarse para planificar la logística desde la descarga del camión hasta la instalación en el sitio final. Lo anterior implica trazar tempranamente las rutas del elemento, asegurando que las luces entre elementos existentes en la obra permitan el paso del elemento y los equipos de transporte utilizados.

1.5.1.3 Consideraciones asociadas a la integridad estructural del módulo

Se debe considerar que, si bien el módulo estructural del baño es auto-soportante, los muros del elemento están anclados a 4 perfiles verticales de 2,95 metros de largo, espaciados a 2 m o 2,4 m entre sí. Por ende, la micro-losa de acero que soporta el piso vinílico es propensa a flexionarse si no se soporta en una base estable, lo que causaría potencialmente problemas de calidad en el piso.

De forma equivalente, es posible que ocurran torsiones en la estructura vertical si el elemento se manipula tomándolo desde la estructura de cielo en vez de utilizar una base estable, lo que puede resultar en fallas y problemáticas de calidad en los muros y terminaciones como espejos y/o artefactos. Por ello, al manipular el elemento, debe considerarse que éste siempre debe estar soportado por una base paletizada con la suficiente rigidez para evitar la flexión en la microlosa. La base paletizada debe permitir la manipulación del elemento tanto mediante horquillas y/o montacargas, como por medio de enganches para el izaje por medio de grúas camión o pluma, de

manera que los esfuerzos durante la manipulación se transmitan siempre en sentido vertical, a través de una base estable.

Además, al considerarse el izaje por medio de enganches a la base, deberán buscarse mecanismos que aseguren que los mecanismos utilizados no ejerzan esfuerzos horizontales. Por ende, es recomendable utilizar estructuras de transporte tipo jaula que eviten la transmisión de esfuerzos que puedan dañar la estructura, como muestra la Figura 49.

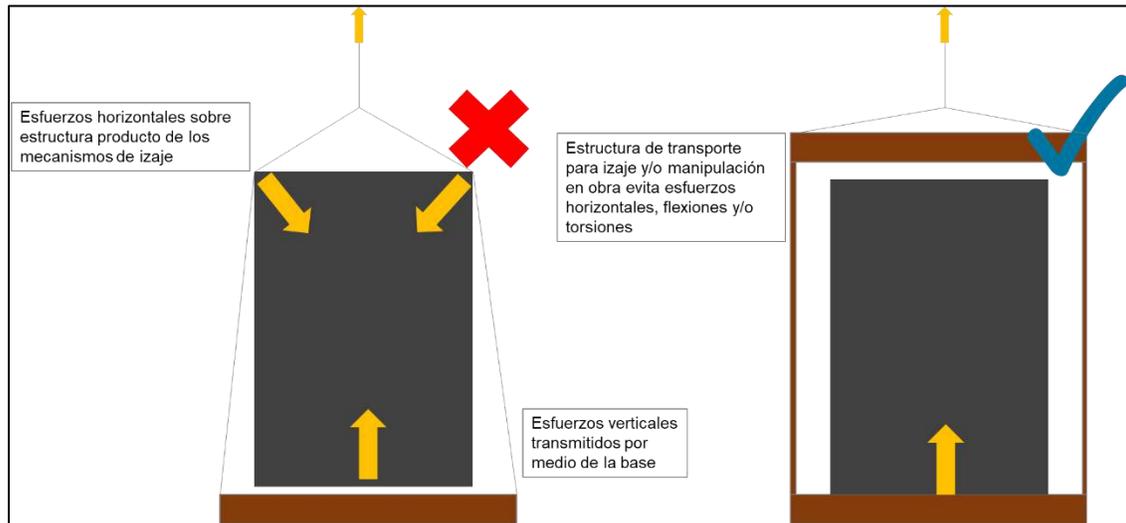


Figura 49. Consideración de esfuerzos para izaje

Entonces, se recomiendan las siguientes consideraciones para la manipulación del elemento sin afectar su integridad:

Durante la manipulación en fase de carga, descarga y transporte a nivel de suelo, el elemento deberá transportarse siempre sobre una base paletizada rígida, utilizando montacargas o equipos que tomen el elemento desde la base. Durante el izaje del elemento, se recomienda que éste sea manipulado por medio de una base envolvente tipo jaula que evite que se generen esfuerzos sobre la estructura del elemento que puedan desplomarlo, causar flexiones o torsiones. Así mismo, durante el transporte a nivel de suelo en el sitio de trabajo, deberán utilizarse montacargas que tomen el elemento sobre una base palletizada, o bien, utilizar estructuras de manipulación tipo carro que faciliten su movimiento en obra, sin generar esfuerzos flexionantes o torsionantes en la base ni la estructura soportante.

1.5.2 Condiciones de transporte

Las dimensiones de los baños de acceso universal prototipados corresponden a 2 m x 2,4 m, por lo que, pueden ser cargados en lotes de tres unidades en camiones que cumplan con dimensiones mínimas en planta de carga de 2,6 metros de ancho y 7,8 metros de largo. La superficie de la base de los elementos, de 4,8 m², implica que deberán utilizarse bases de transporte palletizadas especialmente dimensionadas.

Los baños tienen una altura de piso a cota de cielo de 2,9 m. La cual aumenta a aproximadamente 3,2 metros al considerarse la altura de la base soportante y la altura de la estructura de cielo e

instalaciones de cielo incorporadas. Por ende, deberá considerarse que los mecanismos de transporte cerrados tengan una altura libre de al menos 3,5 m.

Así mismo, para la planificación de las rutas de transporte, deberá considerarse que los pasos bajo nivel y/o pasos restringidos tengan una altura libre permitida de al menos 5 m. para que los camiones que carguen los módulos puedan transitar sin problemas. Si se consideran camiones de planta de carga libre, se debe considerar que la cota más alta del camión cargado será de aproximadamente 4,4 m.

Para el transporte en terreno, se deberán considerar alturas libres de al menos 4 metros para garantizar el tránsito de los baños con su base soportante sobre grúas horquilla o carros de transporte. Así mismo, para el ingreso del elemento a la estructura existente del proyecto (obra gruesa), se deberán considerar accesos con luces de al menos 2,5 m de ancho y 3,5 m de alto.

Por último, es necesario asegurar la integridad del elemento durante su manipulación y transporte. Por lo tanto, se recomienda que éste sea protegido por medio de placas protectoras, protecciones acolchadas de poliestireno expandido, film alveolar o plásticos envolventes que aseguren que los muros y cielo del elemento no se deterioren, sufran impactos o rayas durante el proceso logístico.

1.6 ETAPA DE MONTAJE

Los baños modulares tienen un nivel de terminación superior al 85%, donde el interior del elemento está completamente terminado y equipado. Las labores de terminación requeridas en terreno son: anclaje, conexión de instalaciones y recubrimiento de la cara exterior del elemento. Éstas deben ser realizadas en el orden recién mencionado y la duración completa estimada de las operaciones de incorporación del elemento desde su presentación en el sitio hasta la recepción de la obra terminada es de 3 horas efectivas in-situ.

Los módulos se deben anclar al piso de la estructura, por medio de fijaciones entre los perfiles de la base y la losa. Además, se recomienda que al menos una esquina o cara lateral del elemento esté también anclada a un muro estructural o pilar, para disminuir los grados de libertad del elemento, ya que el baño no se fija a la losa superior.

Las tomas de las instalaciones a matriz, electricidad, ventilación y acondicionamiento térmico emergen verticalmente del módulo y tienen codos de 90° para conectarse horizontalmente a las acometidas de instalaciones sobre cielo técnico. Por ende, permiten conectarse de manera horizontal a una altura pre-definida de las instalaciones sobre cielo falso, o bien, retirar los codos para conectarse verticalmente a tomas de instalaciones por sobre dicha altura.

Las salidas de las descargas de los artefactos están ubicadas en dos caras adyacentes del módulo, en el tramo inferior, ubicadas justo por sobre el nivel de piso y en orientación horizontal. De esta forma, el elemento puede conectarse a shaft en 4 orientaciones, utilizando las salidas estándar integradas en el módulo.

1.6.1 Consideraciones para la planificación del montaje

Los baños son despachados a obra en lotes de 3 unidades por camión. Su descarga de camión a nivel de terreno toma aproximadamente 15 minutos por unidad, desde la preparación del enganche

y base, hasta la puesta del elemento en la plataforma de izaje, sobre una base móvil fijada a la plataforma. Considerando un rango promedio de la grúa de 100 m y una dirección lineal del movimiento de aproximadamente 50m a 90 m dependiendo de la posición del camión y el punto de entrada del elemento, a una altura promedio de 3 pisos, o 12 m a 13 m, considerando hospitales de 4 a 6 pisos promedio, se puede estimar un tiempo total máximo de maniobras de izaje y movimiento hasta posicionamiento de la plataforma en contacto con la losa y descarga del baño, de aproximadamente 5 minutos.

En consecuencia, deben considerarse aproximadamente 60 minutos desde el ingreso del camión a obra hasta la disposición de los 3 baños que carga, ubicados a nivel de piso de su lugar de instalación. Posteriormente su plazo de desplazamiento hasta la posición final dependerá fundamentalmente de la ruta trazada y distancia entre el punto de acceso y posición final del elemento. Considerando que el punto de acceso se ubique en un radio máximo de 32 metros de distancia hasta la posición final, se estimarán 30 minutos para el movimiento en nivel, descarga y preparación del módulo para su anclaje.

El procedimiento de anclaje y conexión de las acometidas toma aproximadamente 60 minutos para un módulo con las características del elemento prototipado. Luego, el proceso de terminaciones, considerando el uso de elementos pre-fabricados, hasta recepción podrá durar entre 60 a 90 minutos adicionales. De ésta forma, siendo conservadores, es posible estimar un tiempo total de manipulación, montaje y terminación hasta recepción de 3 horas por elemento.

Los requerimientos de personal corresponden a:

En descarga, izaje y puesta en nivel:

- Un operador de grúa
- Un operador de montacargas
- Tres riggers (uno con montacargas, uno con grúa a nivel de terreno y otro a nivel de piso en punto de acceso).
- Dos jornales apoyando la labor de descarga en camión y montaje en plataforma.

En descarga de plataforma y manipulación hasta puesta en sitio:

- Un operador de montacargas
- Un rigger (acompaña y guía a montacargas)
- Dos jornales en fase desde llegada a sitio, hasta puesta y preparación

En fase de montaje e instalación:

- Dos especialistas durante anclaje elemento
- Dos especialistas en conexión a instalaciones

En fase de terminaciones:

- 1 cuadrilla de tabiqueros, yeseros y revestimientos (tradicional),

ó

2 especialistas en panelería (industrializado).

- Cuadrilla de montaje cielos falsos.

El requerimiento total de mano de obra corresponde a 16 HH entre descarga, manipulación, montaje, instalación y terminación del recinto, de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 29. Requerimiento de mano de obra

Operación	Descarga y manipulación	Transporte y manipulación	Anclaje elemento	Instalación elemento	Terminaciones recinto
Duración	0,3 h	0,5 h	1 h	1 h	2 h
Personal					
Operador Grúa	1				
Operador Montacargas	1	1			
Riggers	3	1			
Jornales	2	2			
Especialistas montaje			2		
Especialistas Instalaciones				2	
Especialistas Panelería					2
Especialistas cielo					2
Total personal por operación	7 PAX	4 PAX	2 PAX	2 PAX	4 PAX
Total HHs por operación	2 HH	2 HH	2 HH	2 HH	8 HH
Total HHs por módulo	16 HH				

Considerando exclusivamente las faenas de anclaje e instalación, una cuadrilla de 4 especialistas tendrá capacidad para instalar 6 baños / jornada, considerando que la sección de dos especialistas de anclaje cambie de baño cada 60 minutos, al igual que lo haga la cuadrilla de instaladores, con un desfase entre sí de 60 minutos. Además, se considera que los baños son descargados, izados, transportados y preparados en el mismo ritmo de 60 minutos por unidad. Así, se deberá considerar una disponibilidad de una cuadrilla de especialistas por cada dos camiones programados a obra. Considerando además que los ritmos y lotes de despacho son múltiplos de 3, para programar el montaje de 18 unidades de baño modular por semana, montados en un único día, se requerirán:

- 6 camiones despachados a obra.
- 3 cuadrillas de especialistas de montaje (12 pax).
- 4 cuadrillas de terminaciones (8 pax).
- 2 montacargas y una grúa, con utilización de 4 a 6 horas efectivas de la jornada.

El consumo de recursos asociados será de 18 horas-equipos y 288 horas hombre, equivalentes a apenas el consumo requerido para ejecutar dos baños tradicionales de similares características, es decir, 9 veces menos horas efectivas.

1.6.2 Consideraciones para el montaje de los elementos

El procedimiento de manipulación previa del elemento en terreno consiste en:

- 1) Descargar el módulo del camión por medio de un montacarga y posicionarlo en una base móvil fijada sobre una plataforma de izaje.
- 2) Elevar la plataforma de izaje, hasta apoyarla en el punto de entrada del elemento en el nivel del edificio donde se ubicará.
- 3) Remover las fijaciones a la plataforma de la base móvil y desplazar el módulo sobre su base, desde el punto de acceso al nivel hasta su ubicación final.
- 4) Presentar el elemento en su posición de anclaje final, previamente trazada.

Una vez que el módulo ha sido presentado en su ubicación final, se debe preparar el elemento para la fase de montaje. Esto implica dejarlo listo para el inicio de operaciones, por medio de las siguientes tareas:

- 1) Remover los elementos de protección de las caras del elemento que impidan el acceso a los anclajes y acometidas de instalaciones.
- 2) Sellar el acceso al interior del módulo, de manera de cuidar que no se produzcan daños a las terminaciones del elemento.
- 3) Despejar la zona inferior de las caras externas del elemento, permitiendo el acceso a los perfiles de la base montante.
- 4) Despejar las zonas adyacentes a las esquinas del elemento, permitiendo el acceso a los perfiles del esqueleto montante.
- 5) Remover la base del elemento por medio de un montacargas o sistema de elevación in-situ.
- 6) Posicionar el módulo ubicado y orientado exactamente en su posición final demarcada.

Una vez preparado el módulo, se realizan las actividades de montaje:

- 1) Anclaje de los perfiles de la base soportante del piso del módulo a la losa.
- 2) Anclaje del(los) perfil(es) vertical(es) a muro o pilar.
- 3) Conexión descargas a instalaciones en shaft adyacente.
- 4) Conexión de tomas a acometidas de instalaciones sobre cielo.

Durante todas las operaciones anteriormente mencionadas, tanto el shaft adyacente como el cielo falso de la sección inmediata al baño deberán estar descubiertos, para permitir trabajar en las instalaciones por fuera del recinto. Al término del montaje, el elemento tendrá un grado de terminación del 95%, mientras que la zona adyacente habrá alcanzado un grado de terminación equivalente al 85%. Las tareas de terminación requeridas previa a la recepción corresponden a:

Trabajos de terminación final en módulo y zona adyacente:

1) Instalar placa de tabique vertical sobre una o múltiples caras del módulo para ajustar la diferencia de nivel entre la cota de cielo del baño y la cota de cielo falso. Esta puede ser: Completamente pre-fabricada, compuesta de estructura reticulada pre-fabricada y caras montadas in-situ, o tradicional. Se recomienda optar por un sistema completamente pre-fabricado, evitando faenas húmedas in-situ.

2) Instalar las caras externas del módulo, ya sea por medio de placas pre-fabricadas a medida o placas de yeso-cartón tradicionales, enhuinchadas in-situ, enyesadas y pintadas en obra. Considerando los plazos y horas-hombre involucradas en ambas modalidades, es claramente preferible comprar las placas de terminación pre-fabricadas al mismo proveedor de los módulos.

3) Tapar los shafts de instalaciones de descarga. Ya sea por medio de placas pre-fabricadas en taller en terreno, caras pre-montadas o faenas in-situ. Al igual que los casos anteriores, se recomienda el uso de elementos pre-fabricados o pre-montados, ya sea en taller o en obra, evitando así faenas húmedas.

4) Cerrar y tapar cielo falso adyacente al recinto.

1.7 INSPECCIONES Y RECEPCIÓN DE MÓDULO DE BAÑO DE ACCESO UNIVERSAL

1.7.1 Inspecciones en planta

La inspección en planta debe realizarse en tres instancias: Previo a montaje de los elementos al marco estructural, previo a la instalación de artefactos y terminaciones y previo al empaque y carga de los módulos.

Inspección previa a montaje:

Inspección visual del marco:

- 1) Verificar medidas del marco base y altura del marco.
- 2) Verificar plomos del marco y escuadras de base y cielo.
- 3) Verificar alturas de montantes.
- 4) Verificar nivel de la placa de piso.
- 5) Verificar uniones del reticulado de cielo.

Inspección visual de las placas:

- 1) Dimensionado
- 2) Posición y largo de los perfiles montantes

- 3) Unión de las placas
- 4) Estado de las placas

Inspección visual previa a instalación de artefactos y terminaciones:

- 1) Verificar dimensiones y espaciamiento de vanos y montantes.
- 2) Verificar las dimensiones, posición y estado de las pasadas y acometidas.
- 3) Verificar estado general de las terminaciones del vinílico de pisos, muro y cielo.

Inspección visual previa a empaque:

- 1) Inspección general con lista de chequeo de todos los elementos, terminaciones y artefactos.

1.7.2 Inspecciones en obra

El procedimiento de recepción de los módulos en ingreso a obra corresponde a:

- 1) Inspección del itemizado de orden para revisar que se entregaron el número correcto de módulos, con su kit completo, incluyendo, si es que se han solicitado en la orden, las placas complementarias de: Caras exteriores, nivelación de tabiques a cota de cielo y/o cubre shaft.
- 2) Inspección de la guía de recepción de calidad del elemento efectuada en obra, previo a protección y empaque para transporte, verificando que el elemento haya pasado por todas las inspecciones internas y externas antes del empaque, sin observaciones de calidad.

El procedimiento de recepción de los módulos previo a despacho a terreno corresponde a:

- 1) Inspección visual de las condiciones de los elementos de protección y empaque, para evaluar si el elemento puede haber sufrido daños o deterioro durante la fase de transporte y manipulación.
- 2) Si existe daño evidente en los elementos de protección o la falta de éstos, el encargado de calidad deberá revisar completamente la calidad del módulo antes de despacharlo a obra.
- 3) Se debe inspeccionar visualmente también: Las condiciones de la plataforma de izaje y de la base móvil, las fijaciones de la base móvil a la plataforma, los sistemas de enganche y el estado de los sistemas de conexión a la grúa para izaje.

El procedimiento de recepción de los módulos instalados corresponde a:

- 1) Inspección visual del interior del módulo por medio de lista de chequeo de calidad de terminaciones.

- 2) Pruebas de funcionamiento artefactos, luminaria y ventilación mecánica en baño.
- 3) Inspección visual conexión de instalaciones.
- 4) Pruebas de estanqueidad, fugas y presión de instalaciones.
- 5) Inspección visual de la zona adyacente por medio de lista de chequeo de calidad de recintos, considerando, al menos, terminaciones caras exteriores módulo, terminaciones tabique de ajuste a cielo, terminaciones del shaft y terminación de cielo falso adyacente.

2 CARACTERÍSTICAS DEL PROTOTIPO Y PROCESO DESDE DISEÑO A RECEPCIÓN DE MÓDULO DE TABIQUE TÉCNICO CON LÍNEA DE VIDA

En esta sección se aborda el diseño inicial, las consideraciones tomadas, las decisiones asociadas al proceso de DfMA y las características finales del tabique técnico con línea de vida prototipado.

2.1 INTRODUCCIÓN

Los arquitectos están diseñando habitaciones para pacientes que sean más flexibles y sean fácilmente adaptables sin mayores interrupciones y reinversiones.

También la medicina actual está creando una experiencia más personalizada y menos institucional para los pacientes y sus familias, incorporando elementos de diseño como materiales naturales, acceso a la luz del día y menos ruido, los que ayudan a crear una experiencia más reconfortante y curativa.

Los diseños de las habitaciones de los pacientes combinan las necesidades funcionales con las características de diseño que ocultan el aspecto clínico y la sensación institucional de los hospitales tradicionales, lo que ayuda a lograr mejores resultados y asegurar la comodidad de los pacientes.

El diseño de la cabecera de la cama presenta desafíos importantes que incluyen tener los suficientes espacios disponibles para todas las salidas, además de conectividad y otros elementos de apoyo y confort para el paciente.

Una cabecera de cama prefabricada debe ser altamente configurable y actualizable, pero también debe ofrecer opciones de diseño para que los arquitectos las adapten a sus diseños.

Descripción general y relevancia en un proyecto hospitalario

Una modalidad actual en el ámbito público es que las unidades de habitaciones de hospitalización se organicen en base a salas de 3 camas con baño incorporado. En esta agrupación existe la ventaja de aprovechar de mejor manera la modulación estructural (aprox. de 8,0 x 8,0 m.), utilizando medio módulo da el espacio suficiente, con un ancho de sala de 3,90 m., para el giro y salida entre la cama y muro. También se logra tener una distancia entre camas, adecuada para incluir sillón de visita y espacio libre de atención en torno a la cama y asistencia desde la cabecera.

La agrupación de dos camas puede resolverse en este mismo módulo, manteniendo la ubicación del baño y retranqueándose de la fachada, lo que aporta flexibilidad de considerar una futura ampliación y se mantiene la ubicación de los baños, alineando las instalaciones correspondientes.

Se utilizan también salas de aislamiento con 1 cama o 2 -por lo general con capacidad de expansión a 2 camas por sala- con baño incorporado.

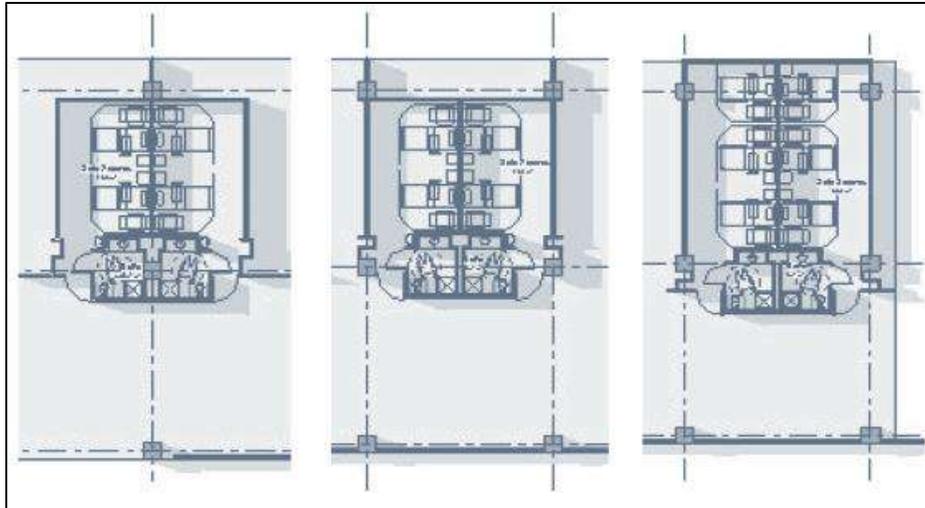


Figura 50. Alternativa de salas en grilla de 8,0 x 8,0 m. Fuente: MINSAL

Tipologías de tabiques con línea de vida descripción

La línea de vida se refiere a todo el equipo al que está conectado el paciente para dotarlo de las condiciones óptimas necesarias para mantenerlo con vida. Pero en términos técnicos y de infraestructura hospitalaria la línea de vida se refiere a la dotación constante e ininterrumpida del suministro eléctrico y de gases medicinales (normalmente aire, oxígeno y vacío) necesario para mantener funcionando a esos equipos que proveen de las condiciones óptimas de salud a los pacientes, debemos recordar que la mayoría de estos equipos únicamente funcionan con suministro eléctrico.

Adicionalmente, este tabique podría contener llamada a enfermeras, código azul, teléfono, tomas de monitorización, conexión a datos, iluminación, etc.

Las opciones que se pueden manejar en este tipo de tabiques son las siguientes:

1. Montado en el muro – el módulo está montado en la superficie a la pared terminada que da servicio a la habitación respectiva. En este caso el módulo sobresale del plomo del tabique terminado.
2. Inserto en el muro - se instala en un marco inserto en él tabique y se asienta a nivel de la superficie terminada.
3. Doble cara – en este caso el módulo se inserta en el tabique principal, el cual tiene dos lados que sirven dos cuartos adyacentes.



Figura 51. Opciones de tabiques

2.2 ETAPA DE DISEÑO

Para ejecutar el diseño de un tabique con línea de vida con enfoque DfM, el proceso debe enfocarse en llevar a cabo las siguientes etapas:

- i. Asegurar el cumplimiento de las funcionalidades y calidad del producto
- ii. Simplificar el diseño, por medio de la reducción de piezas y estandarización de componentes
- iii. Mejorar la fabricación, disminuyendo las operaciones

Las etapas que se siguieron para abordar el diseño del prototipo del tabique con línea de vida fueron los siguientes.

- A. En primer lugar, se especificó el tabique, en términos de sus funcionalidades y características, catalogadas en requisitos y deseables. En esta etapa se definió realizar un tabique que sirva a una unidad de cama, pero que sea adaptable para configuraciones de 1, 2, 3, 4 o 6 camas.
- B. Posteriormente, se realizó la etapa de DfA, consistente en la modulación del producto y luego el diseño de cómo se coordinarán los distintos componentes,
- C. En tercer lugar, se realiza el DfM, consistente en el diseño de las operaciones de montaje y producción.
- D. Finalmente, se prototipó virtualmente la solución para comprobar hipótesis de producción, montaje y optimización del producto.

2.2.1 Aspectos funcionales, técnicos y características

2.2.1.1 Aspectos Funcionales

La configuración de los elementos que se incorporarán a un tabique con línea de vida debe basarse en la carga de los servicios y dispositivos médicos especificados que se conectarán a los servicios de dicho tabique. Los dispositivos médicos vienen en una variedad de tamaños que si no están espaciados apropiadamente pueden restringir el uso de los tomacorrientes disponibles. Además, los enchufes, interruptores y dispositivos deben colocarse en una zona de alcance ergonómico a una distancia de 45 cm a 180 cm del piso.

Dentro de la configuración del tabique se deberán considerar al menos los siguientes espacios:

- Espacio vertical para salidas o dispositivos (llamado enfermera, código azul)
- Espacio vertical y horizontal para salidas de gases en línea (cañería de cobre y salidas a muro)
- Espacio vertical y horizontal para dispositivos eléctricos (cajas eléctricas y canalizaciones)
- Espacio para dispositivos de corrientes débiles
- Espacio para iluminación directa e indirecta y el control de estas

Los tabiques cabeceros de cama dentro de cada sala de hospitalización deberán cumplir con las siguientes condiciones funcionales:

- La modulación de las zonas del tabique debe permitir:
 - Una distancia libre mínima entre camas de 1 m.
 - Debe existir el espacio suficiente para acercar carros a la cama, además de espacio para el ventilador no invasivo más monitor de signos vitales rodable.
 - Debe haber espacio para acceder a la cama por ambos costados.
 - La distancia entre camas debe permitir la inclusión de un sillón de acompañante, el que tiene capacidad para estirarse o reclinarse. En el caso de hospitalización pediátrica el sillón permite a los padres acompañar al paciente durante la noche por lo que se extiende completamente.
- Cada cama debe contar con un espacio o mobiliario anexo para guardar los artículos personales del paciente, espacio que puede estar incorporado en el tabique de cabecera. Es esperable que éstos queden al alcance del paciente.
- Tener acceso a toma independiente de gases clínicos por cama.
- Debe incluir iluminación y punto de datos.
- Debe incluir iluminación individual, llamado a enfermera individual, y toma de corriente para uso del paciente.

2.2.1.2 Aspectos Técnicos

Tabla 30. Requerimientos de tabique técnico con línea de vida (por cama)

TIPOLOGÍA	ELEMENTO	CANT.	DESCRIPCION O CARACTERISTICAS
TABIQUE	Resistencia al fuego y acústica		Este tabique deberá tener un desempeño de resistencia al fuego F-60 e índice de reducción acústica de ensayo Rw=54 dB.
	Estructura		Se debe considerar una estructura firme y resistente, capaz de absorber impactos de distinta índole, sin colapsar. Debe ser autosoportante y dúctil, sin que su forma se pueda ver dañada o modificada en el tiempo, debido a esfuerzos o presiones. La estructura principal debe presentar altas condiciones de durabilidad, y en el caso de requerir alguna mantención, esta debe ser fácil de ejecutar. La estructura elegida debe estar avalada por un proyecto de cálculo y por la certificación de un especialista en cálculo.
	Aislación		Se debe considerar la instalación de un elemento que funcione como aislante acústico. Debe ser un material liviano, y con una buena flexibilidad, que permita un rápido y fácil dimensionamiento para instalación. Debe ser incombustible, resistente e inalterable en el tiempo, no debe absorber humedad, ni ser conductor de electricidad. El material para elegir debe contar con una ficha técnica certificada por su proveedor.
	Revestimiento		Se debe considerar un revestimiento de la estructura en placa con alta resistencia mecánica. Esta placa debe instalarse desde el piso hasta el fondo de losa superior o viga.
	Refuerzos para instalación de equipos colgados a muro		Se deben considerar refuerzos para instalación de equipos colgados en zonas donde estos estén ubicados.
	Fijaciones a la estructura principal		Se debe considerar encuentros deslizantes con la estructura soportante del edificio y sello acústico en unión a los elementos de obra.
GASES CLÍNICOS	Tomas de oxígeno	02	Se deberán instalar a 1,50 mts. Desde su eje central hasta el nivel de piso terminado (NPT) y en el costado derecho de la Cabeza del Paciente. El diámetro de las cañerías que proveen los gases clínicos dependerá del cálculo final del proyecto total del proyecto.
	Tomas de aire	02	
	Tomas de vacío	02	
	Slide bottle	02	

			Para el caso de la llegada a las tomas y para el presente ejercicio se considerará una cañería de 1"
TOMAS DE ENCHUFES	Enchufe doble	02	Para el caso de habitaciones de hospitalizaciones y tratamientos intensivos, en los cuales existen anestésicos combustibles todos los artefactos se instalarán a 1.20m.
	Enchufe doble grado médico	04	Para el caso de habitaciones de hospitalizaciones y tratamientos intensivos, en los cuales existen anestésicos combustibles todos los artefactos se instalarán a 1.20m.
PUNTO DE DATOS	Enchufe de datos doble	01	El contratista eléctrico deberá considerar canalizaciones para estos sistemas según plano de especialista. En aquellos lugares en que las tuberías a la vista tengan riesgo de daño mecánico, deberán ser del tipo metálico EMT
LLAMADO ENFERMERÍA	Consola de llamado enfermería estación paciente	01	La consola puede ser con o sin voz. El contratista eléctrico deberá considerar canalizaciones para estos sistemas según plano de especialista. En aquellos lugares en que las tuberías a la vista tengan riesgo de daño mecánico, deberán ser del tipo metálico EMT
	Código azul	01	El contratista eléctrico deberá considerar canalizaciones para estos sistemas según plano de especialista. En aquellos lugares en que las tuberías a la vista tengan riesgo de daño mecánico, deberán ser del tipo metálico EMT.
TELEFONÍA	Un punto de conexión telefonía	01	El contratista eléctrico deberá considerar canalizaciones para estos sistemas según plano de especialista. En aquellos lugares en que las tuberías a la vista tengan riesgo de daño mecánico, deberán ser del tipo metálico EMT.
ILUMINACIÓN	Luz de lectura	01	ENTRE 15 A 25 W. En aquellos lugares en que las tuberías a la vista tengan riesgo de daño mecánico, deberán ser del tipo metálico EMT
	Luz indirecta (ambiental)	01	> 30W En aquellos lugares en que las tuberías a la vista tengan riesgo de daño mecánico, deberán ser del tipo metálico EMT

2.2.1.3 Aspectos deseables

Con el fin de proporcionar un ambiente menos clínico es una característica deseable que el tabique cabecero de cama tenga un aspecto ordenado y limpio visualmente, disminuyendo la sensación de ambiente hospitalario. esto es factible de lograr incluyendo las instalaciones embutidas en el módulo de tabique. A su vez esto proporcionará mayor higiene ya que se reducirá la cantidad de elementos sobrepuestos en el paramento vertical.

Al desarrollarse el proceso de fabricación en un entorno altamente controlado se espera que el producto final tenga una calidad superior al estándar.



2.2.1.4 Modularización

En el caso del tabique técnico con línea de vida, hay que considerar el fuerte componente técnico y funcional, criterios que deben prevalecer sobre cualquier otra característica.

Para sectorizar el tabique se definieron zonas que responden al criterio funcional y técnico.

La sectorización del tabique está dada por 3 zonas funcionales, dos zonas denominadas clínicas y otra denominada de paciente. Las zonas clínicas albergan los equipos médicos, conexiones o tomas de gases clínicos y puntos eléctricos.

Las dos zonas clínicas son de 60 cm cada una, y la zona de paciente tiene un ancho de 120 cm. Formando un ancho total de 240 cm. Estas medidas fueron determinadas por la dimensión de la cama clínica estándar y el distanciamiento mínimo requerido entre dos camas.

Cuando se dispone de una habitación de más de una cama, los tabiques que sirven a cada unidad se van a conectar de forma sucesiva, formando un pasillo o separación entre camas de 120 cm.

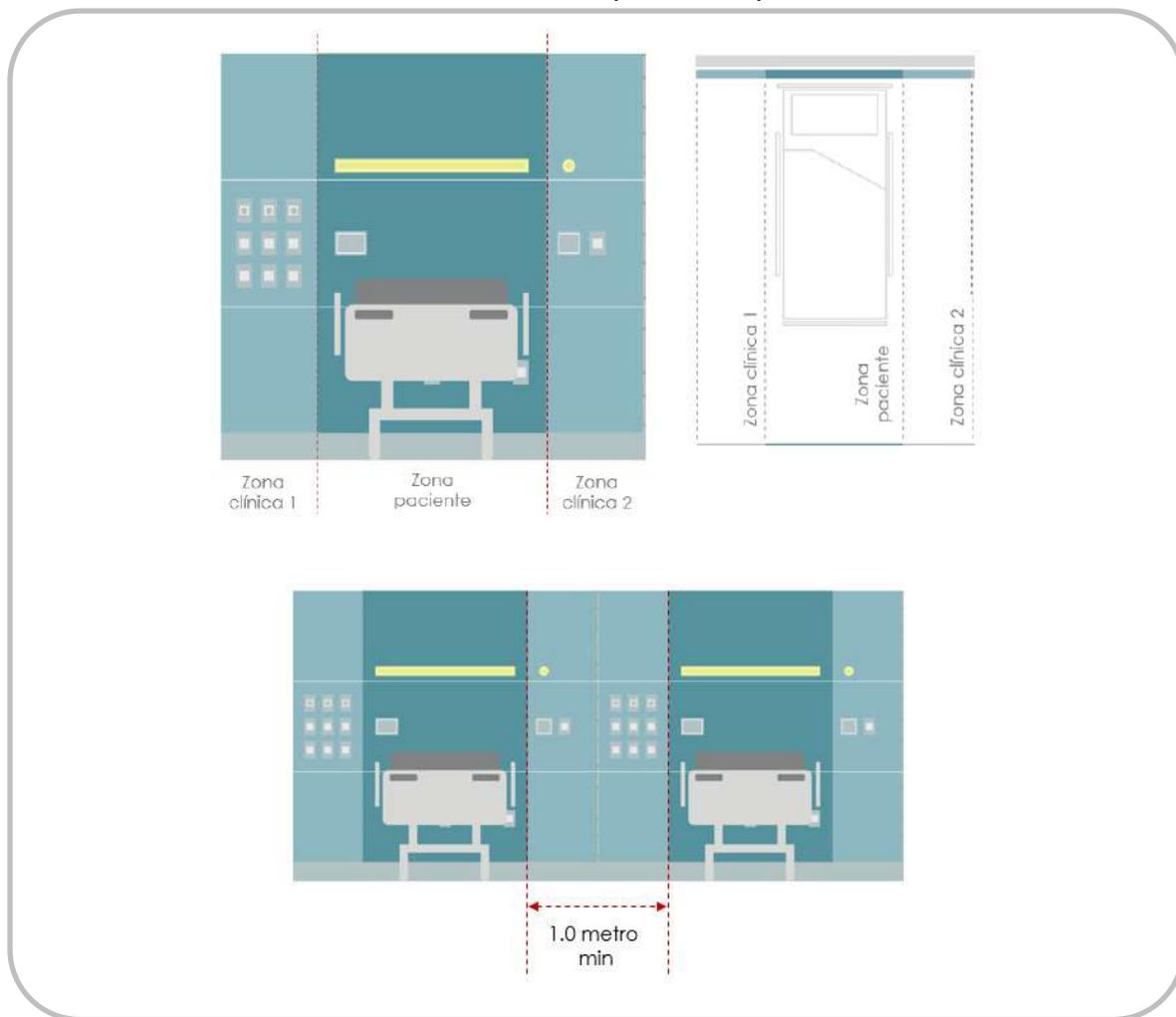
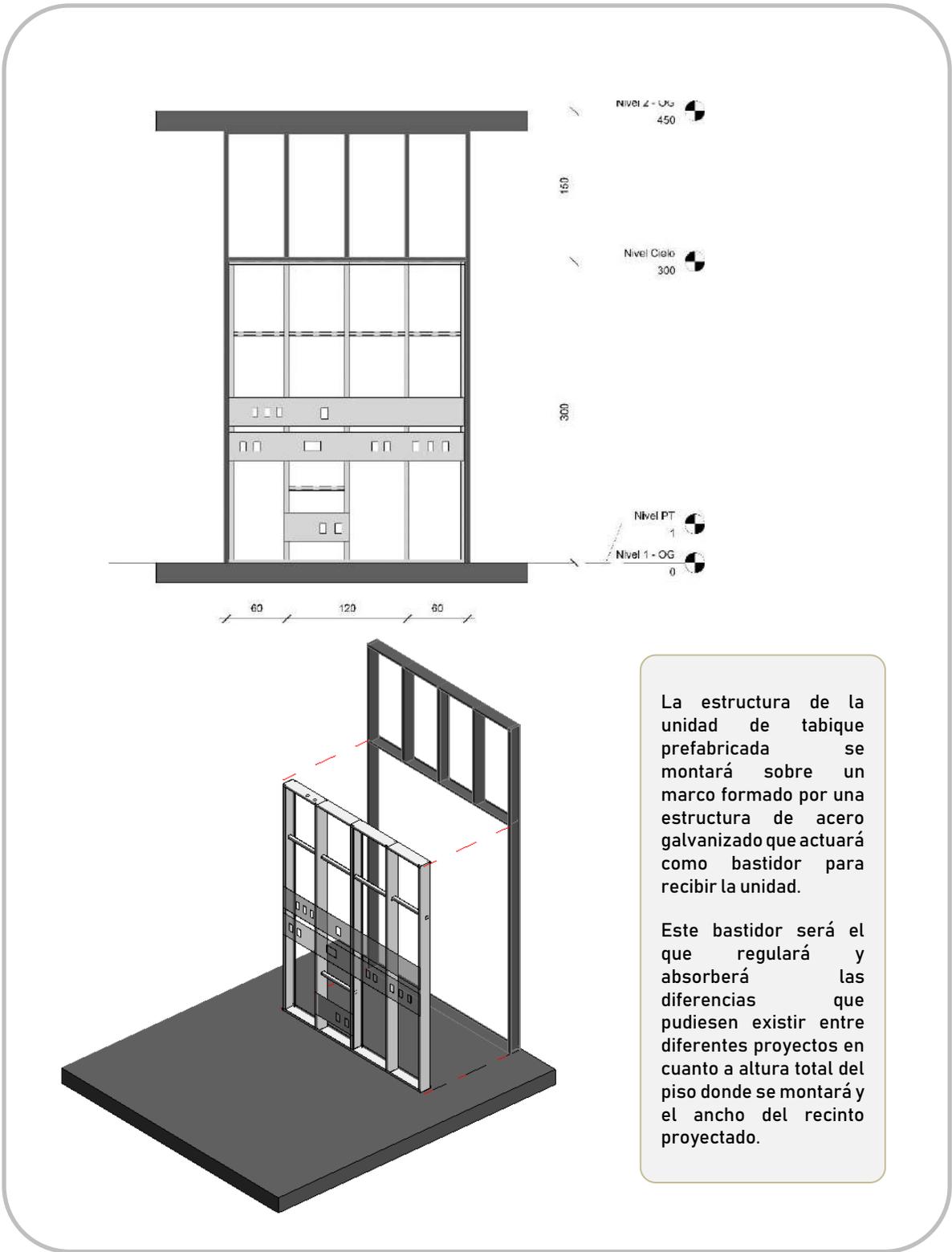


Figura 52. Zonas según criterio funcional y técnico



La estructura de la unidad de tabique prefabricada se montará sobre un marco formado por una estructura de acero galvanizado que actuará como bastidor para recibir la unidad.

Este bastidor será el que regulará y absorberá las diferencias que pudiesen existir entre diferentes proyectos en cuanto a altura total del piso donde se montará y el ancho del recinto proyectado.

Figura 53. Estructura del tabique

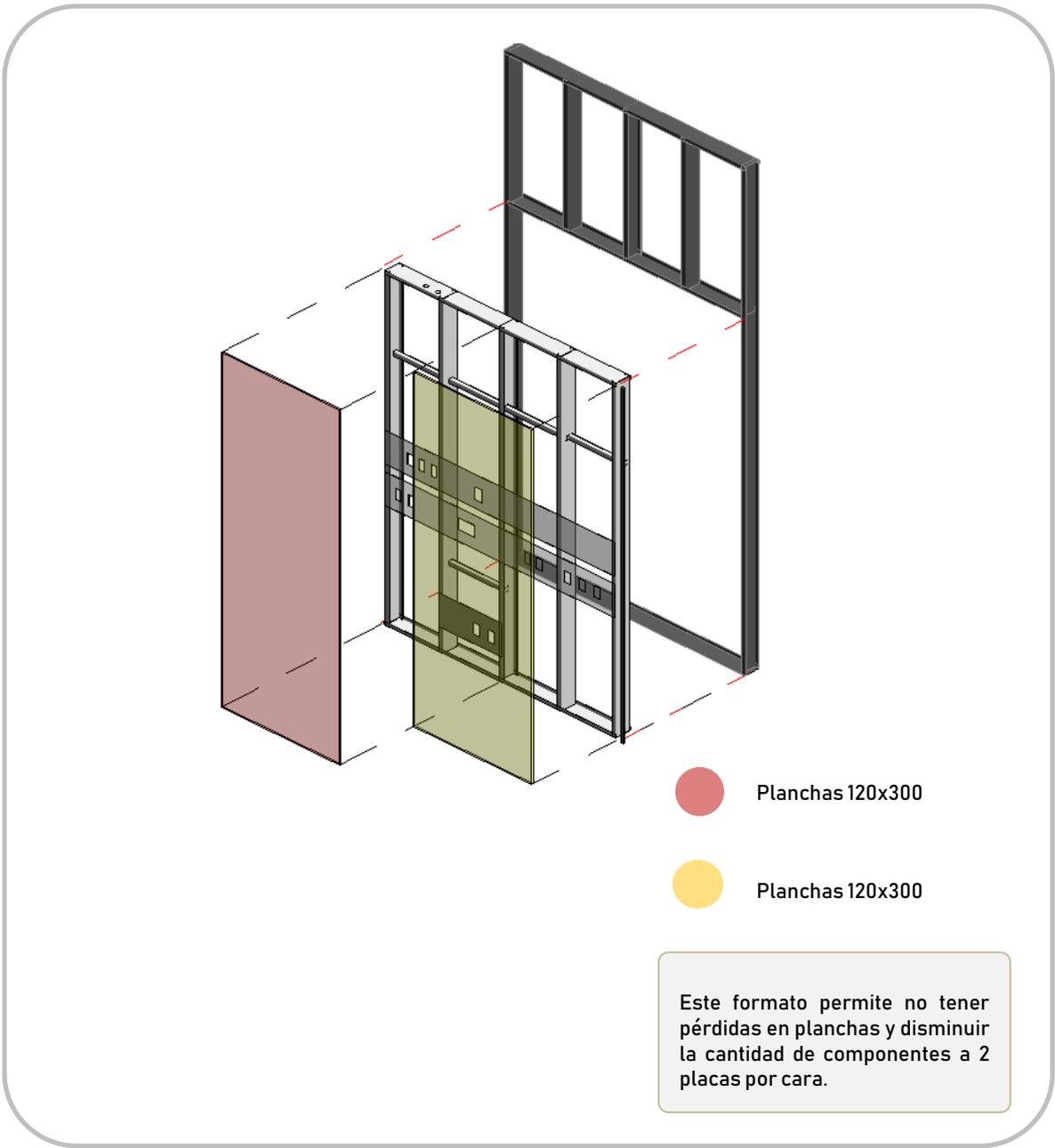


Figura 54. Planchas del tabique

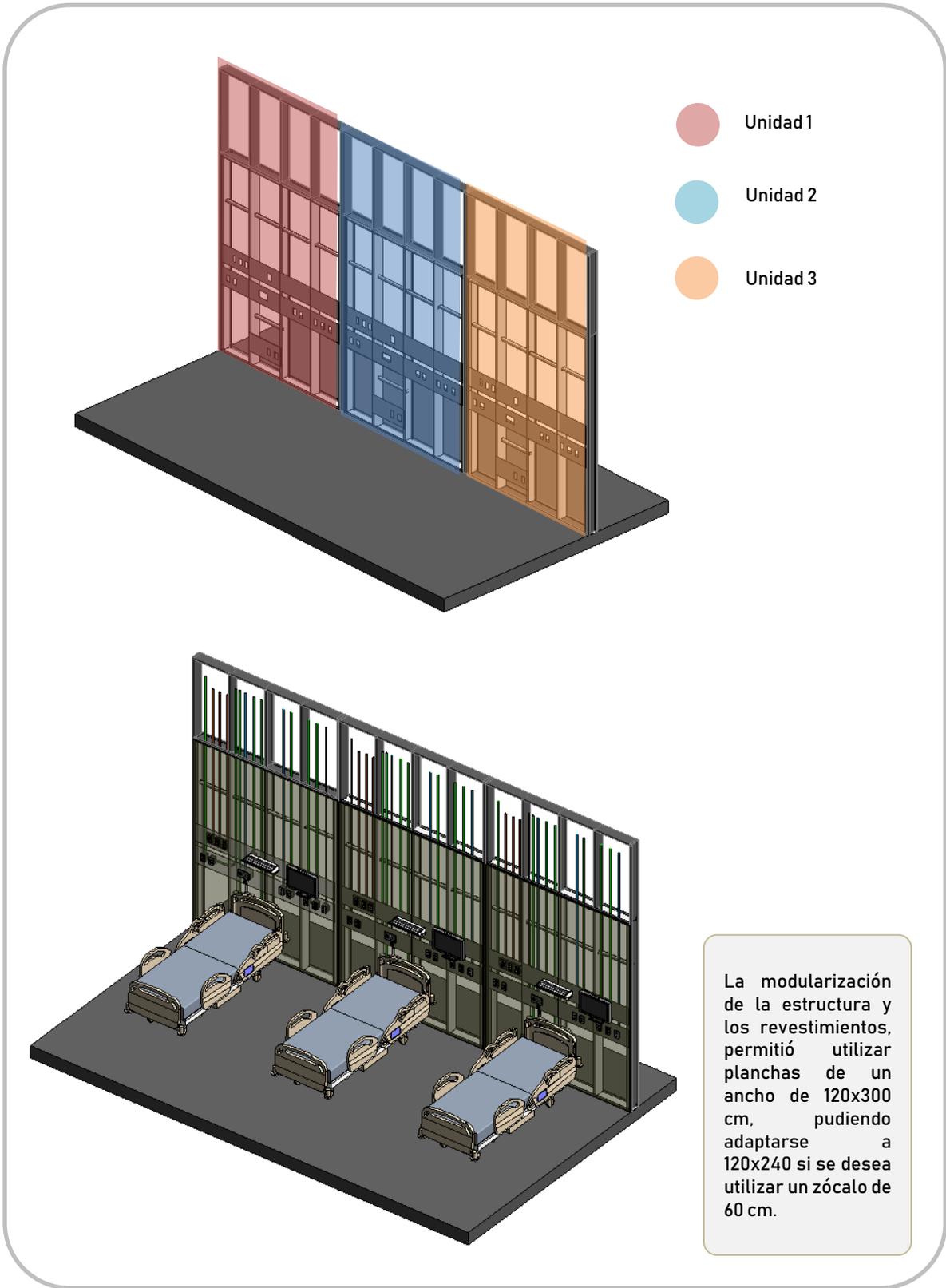


Figura 55. Habitación de 3 camas

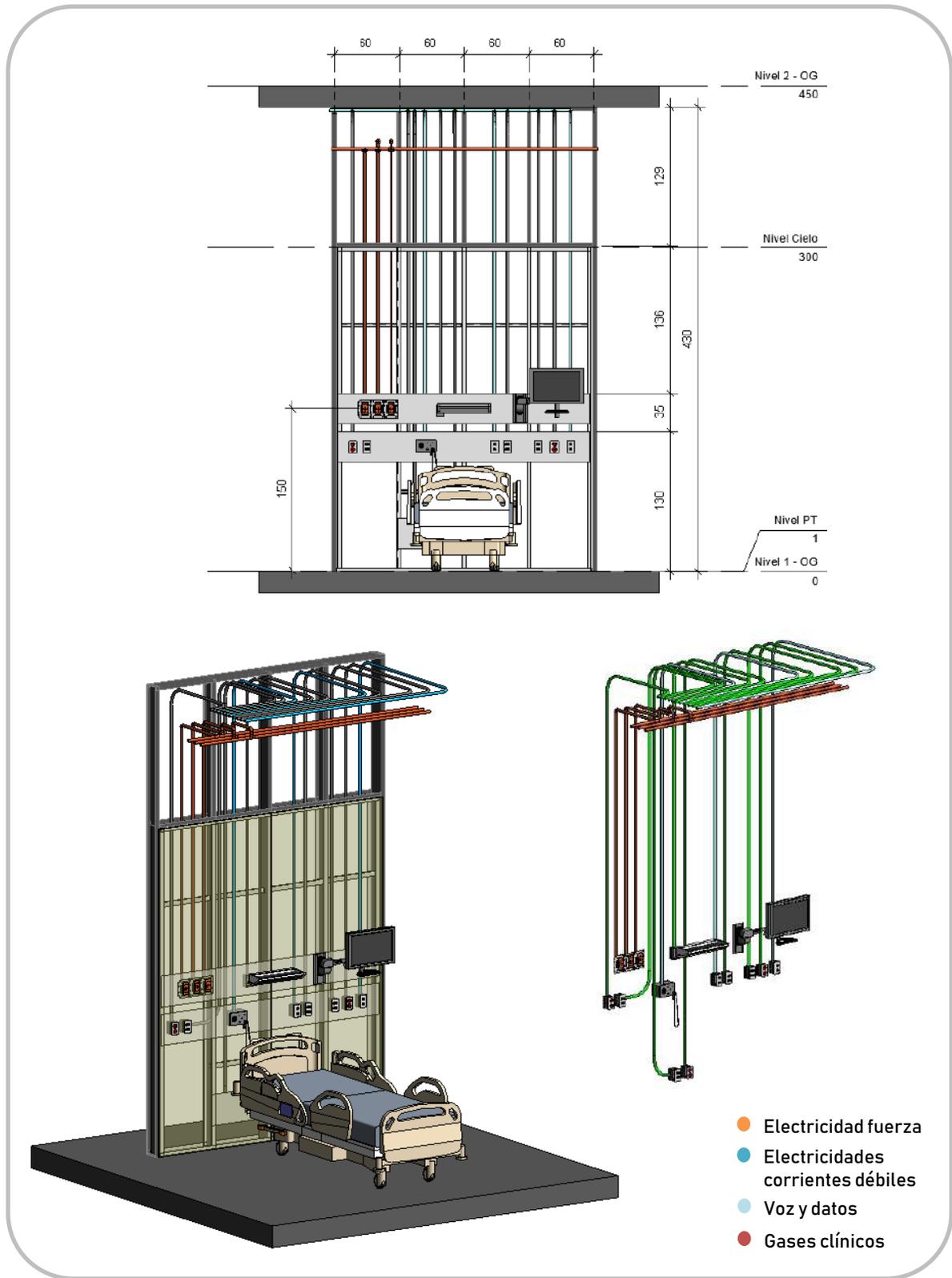


Figura 56. Instalaciones unidad de una cama

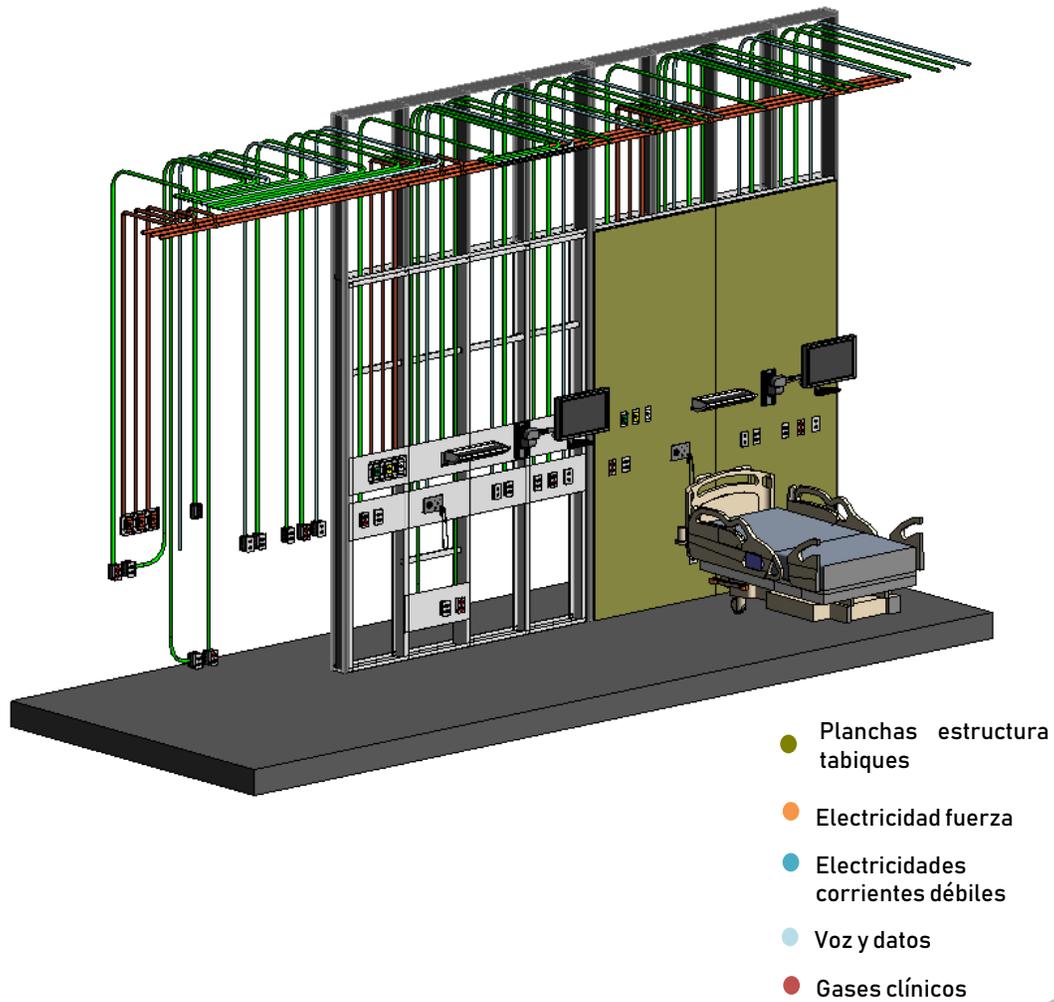
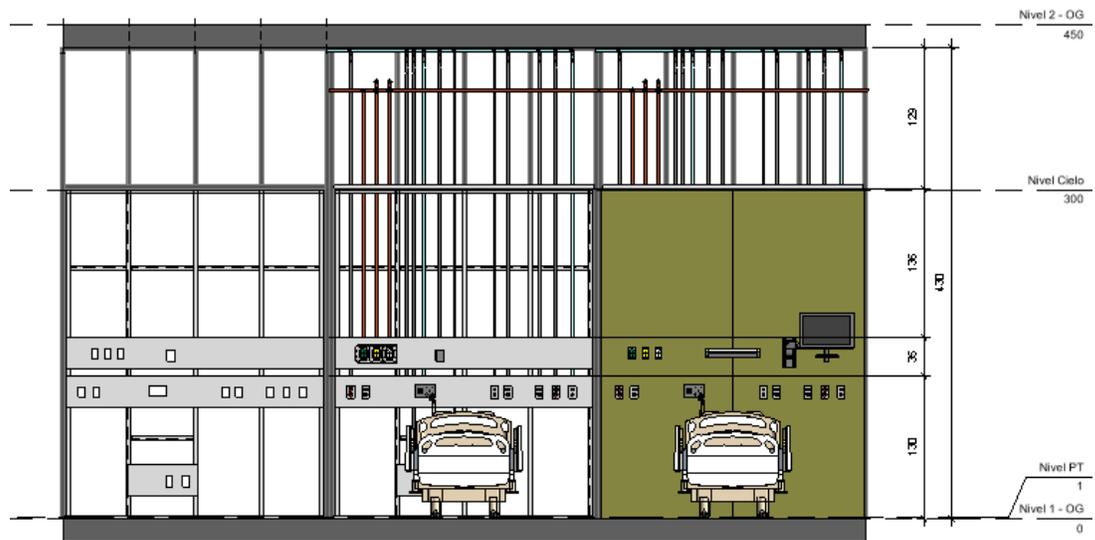


Figura 57. Instalaciones habitación de tres camas

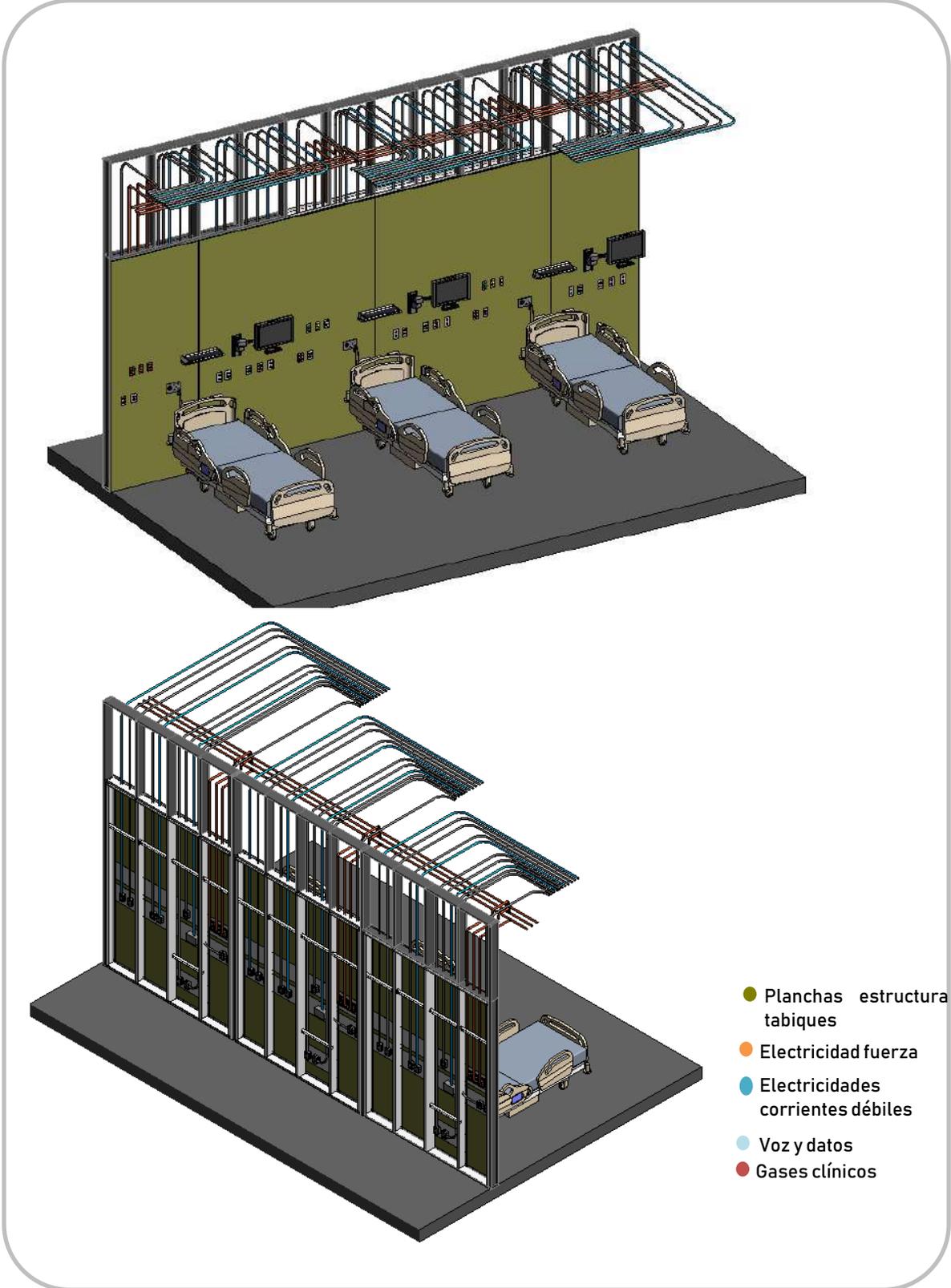


Figura 58. Habitación de tres camas con instalaciones

2.3 ETAPA DE PLANIFICACIÓN INICIAL DE OBRA

Los tabiques técnicos de hospitalización han sido conceptualizados para permitir el armado de salas de hospitalización tipo de 3 camas, de 8 metros de largo, siguiendo la modulación estándar de hospitales de hormigón armado de losas libres con módulos de 8 m x 8 m, soportadas por pilares y machones de hormigón estructural, con luces de al menos 4 metros entre sí y alturas entre losa similares a 4 m. Aun así, el prototipo es compatible con otros módulos y programas arquitectónicos, ya que el sistema constructivo de cada sala de hospitalización se compone de tres módulos base de tabique técnico, uno por cada cama, de dimensiones de 2,4 m de ancho por 3 m de alto. El módulo puede incluso ser compatible con rehabilitaciones de obra existente, ya que el elemento se integra a perfiles verticales de estructura de acero liviano equiespaciados, que soportarán el marco de cada tabique base.

Un aspecto clave a considerar en la planificación inicial es que el tabique se inserta a una estructura base de perfiles metálicos (gris oscuro), como muestra la figura 70. Esto permite que el tabique se adapte a distintas alturas de losa y a distintas modulaciones de la sala de hospitalización base, permitiendo ocupar múltiplos de la dimensión base por cama para construir salas de 1, 2, 3 o más pacientes. Así mismo, Permite que el cliente solicite los paneles de extensión del tabique por sobre la cota de 3 m a medida y con el sistema que requiera. Además, se considera que el cielo de la habitación se ubicará a 3 m, coincidiendo con la altura del tabique técnico y del baño modular de acceso universal.

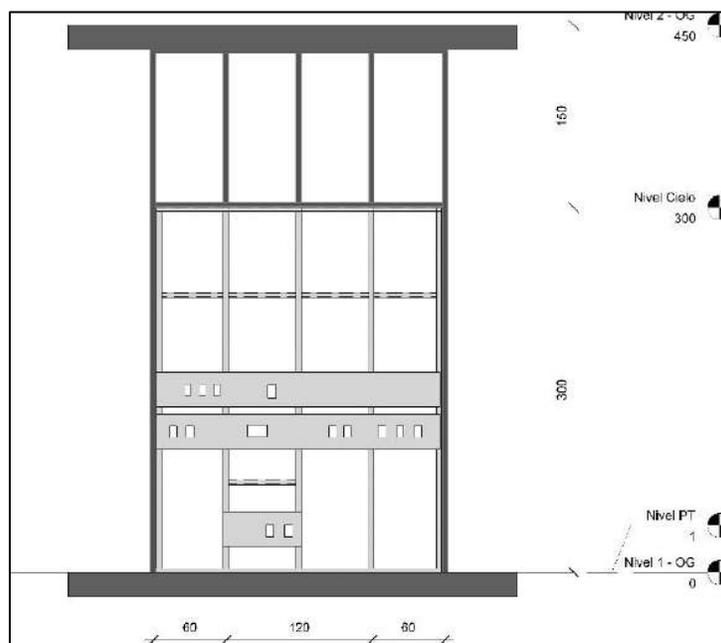


Figura 59. Colocación de tabique técnico

Cada sala de hospitalización se compone de un kit tipo, de tres módulos de tabique. El kit se entrega a obra paletizado en una estructura envolvente que protege a los elementos y que al mismo tiempo facilita su manipulación y transporte gracias a una base móvil. La Figura 60. presenta las dimensiones del kit estándar y, a continuación, se detallan los elementos que éste contiene:

- Tres tabiques modulo base de 2,4 m x 3 m
- Tres tabiques sobre cielo a medida, de 2,4 m de largo y aproximadamente 0,8 a 1,5 m de alto

- Tres placas de recubrimiento cara exterior tabique
- Sistema de transporte envolvente

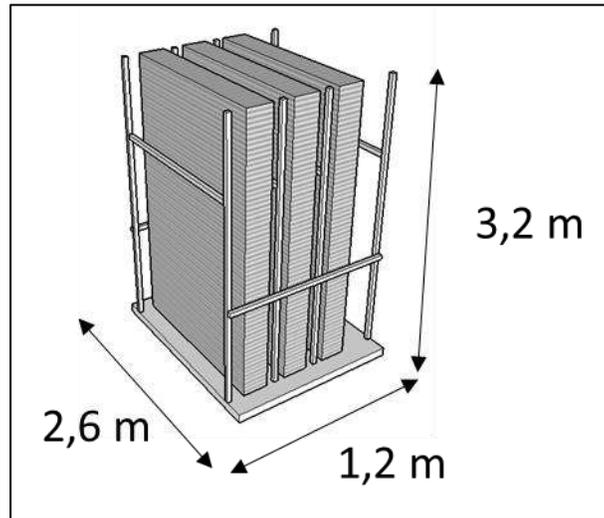


Figura 60. Dimensiones de kit estándar de tabique técnico

Cada elemento base tiene un peso estimado de 190 kg, que aumenta a 240 kg aproximadamente si se consideran las caras de recubrimiento externo. El kit completo, considerando tabiques sobre cielo de 1,2 m de alto, tiene un peso total de 900 kg, más el peso del sistema de carga (similar a 80 kg). El tamaño del kit de despacho es de 2,6 m de largo, por 3,2 m de alto y 1,2 m de ancho y se debe considerar un peso total para manipulación y transporte de aproximadamente 1 ton. Entonces, deberá considerarse el uso de grúa y montacargas para su manipulación, así como el requerimiento de luces de, al menos, 3 m x 3,5 m para su ingreso en posición vertical, o 1,6 m x 3 m para su ingreso acostado.

El tabique no requiere anclarse a losa, sino al marco de perfiles montantes previamente incorporado en la obra gruesa. Los perfiles permiten diversos tipos de fijaciones dependiendo del proveedor utilizado. Además, el tabique viene pre-armado con sólo una cara montada, de tal forma que facilita el anclaje de los perfiles en terreno, conexión de instalaciones y realización de pruebas antes de sellar el tabique. Así mismo, debido a la existencia de los marcos, cada tabique puede ser anclado de forma independiente.

Cada tabique cuenta con instalaciones independientes, previamente insertas en posición vertical, con tomas en el extremo superior para conectarse a acometidas desde sobre cielo. Las tomas vienen con codos que pueden utilizarse para instalaciones con acometidas horizontales a una cota estándar, o bien, pueden utilizarse sin los codos, para permitir la conexión a acometidas en sentido vertical, así como la extensión vertical de las instalaciones para alcanzar cotas más altas.

Todas las instalaciones de gases clínicos y corrientes descienden al tabique por la sección central de 1,2 m ubicada en el espacio de la cama de hospitalización como muestra la Figura 61. Éstas, luego se ramifican en sentido horizontal a una altura estándar, para permitir conexiones en las secciones de 60 cm ubicadas a cada costado de la cama. Todas las instalaciones se ubican en una franja horizontal a una altura ergonómica estándar de 1,2 m para las conexiones y 1,55 para los interruptores y soportes de equipo técnico.

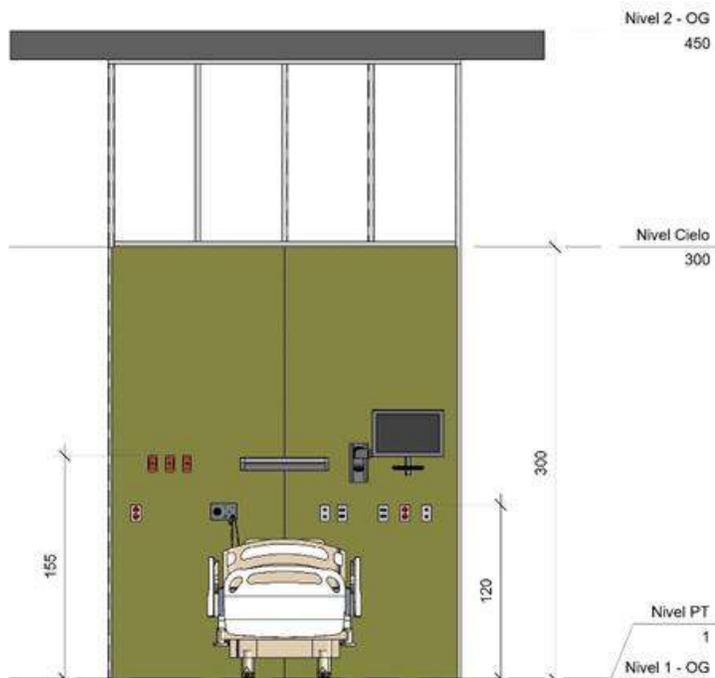


Figura 61. Ubicación de artefactos

2.4 ETAPA DE FABRICACIÓN

Dadas las características del módulo de tabique técnico, el módulo base debe ser producido en un flujo lineal, que permite la preparación de elementos pre-dimensionados y modulados, siguiendo la lógica de la Figura 62. Es decir, se arma el marco estructural, se añaden las instalaciones, se fija una placa de soporte a la estructura y luego se fijan las placas terminadas de la cara interna del tabique, en un flujo continuo.

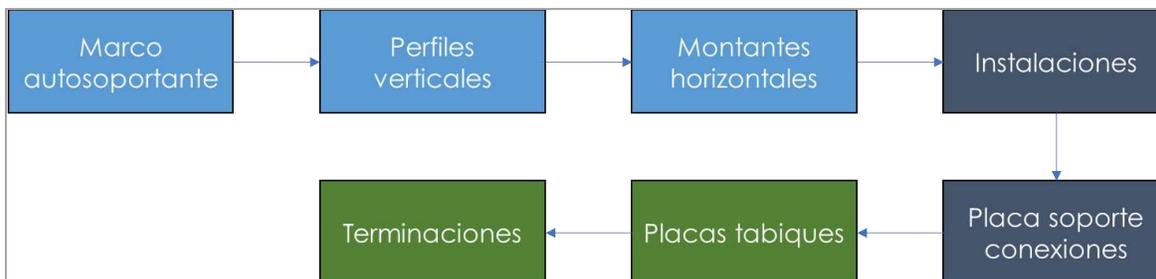


Figura 62. Secuencia productiva de tabique técnico

2.4.1 Secuencia productiva del tabique tipo

En primer lugar, se produce y fija el marco autosoportante, utilizando un molde tipo escuadra para fijar su posición y asegurar tanto las cotas como el ángulo entre perfiles. Posteriormente, se añaden los perfiles que otorgan estabilidad estructural y los perfiles montantes para los equipos y gases clínicos.

Las instalaciones se fijan en montantes y también en una placa que sostendrá las terminales de las diferentes instalaciones. Por ende, pueden primero pasarse las instalaciones y luego fijar la placa, o bien, fijar la placa de soporte, luego pasar las instalaciones y finalmente incluir las cajas de las terminales. Dado que el objetivo de DfM es minimizar operaciones en la fase de producción, se recomienda primero incorporar las instalaciones de gases y corrientes en orientación vertical, hasta las cotas de 1,55 m y 1,2 m desde nivel de piso, luego pasar las ramificaciones horizontales a las distintas secciones del ancho del elemento. A continuación, una vez fijadas las instalaciones, se incorpora la placa de terminales, compuesta de una plancha de acero laminado liviano, previamente montada con las cajas de las salidas.

Una vez incorporadas las cajas, se montan las dos placas de tabique, previamente dimensionadas y con las pasadas para las terminaciones de cada instalación previamente cortadas. Finalmente, se montan las terminaciones de salida de gases clínicos, interruptores y soportes de equipo técnico. Ver Figura 63.

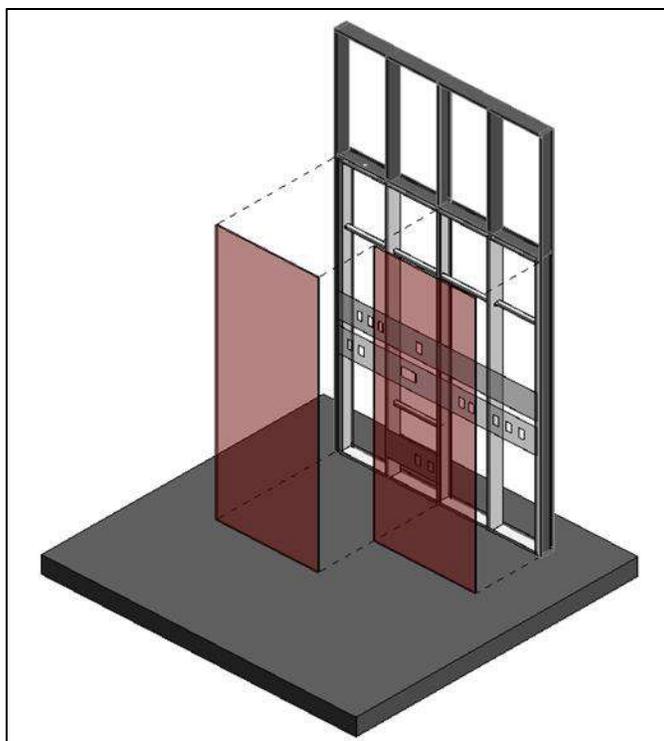


Figura 63. BIM de referencia

2.4.2 Consideraciones generales para la fabricación

A continuación, se presentan consideraciones y recomendaciones para facilitar la producción, las cuales aplican a la generalidad del proceso de fabricación:

- Cada módulo pesa aproximadamente 190 a 220 kg, no obstante, su estructura soportante pesa alrededor de 50 kg. Por ende, durante la etapa de montaje del marco y perfiles, se podrá manipular fácilmente la estructura pese a su porte. Por ello, se deberá buscar la posición que más facilite el trabajo, ya sea acostada o en posición vertical. Se recomienda

trabajar en posición vertical a lo largo de la línea de producción, ya que de esta forma el elemento no deberá ser girado y sometido a esfuerzos para cargarlo en la base envolvente del kit que será utilizada en la fase de transporte.

- Si bien un kit se compone de tres módulos completos, es aun así recomendable trabajar con un tamaño de lote único, es decir, de un módulo a la vez, ya que esto permite nivelar el ritmo de trabajo de las 7 operaciones asociadas al montaje de tabiques, minimizando tanto el inventario de trabajo en proceso como los cuellos de botella en la planta.
- Las estaciones de trabajo de montaje de las placas de tabique, así como la estación de carga del elemento en el ki deberán considerar sistemas mecanizados de manipulación de los elementos y riggers, ya que los módulos de 3 m x 2,4 m pesan alrededor de 200 kg y pueden causar accidentes durante operaciones de giro, manipulación o izaje.
- El tiempo de ciclo de producción es relativamente rápido comparado con la tasa de demanda (Un hospital promedio tiene alrededor de 600 camas, es decir, requiere de alrededor de 200 kits en un plazo de 10 a 12 meses, mientras que el tiempo de ciclo de producción de un kit de tabiques será de 2 a 3 días productivos). Por ende, se recomienda producir para stock, MTS, con un stock mínimo que permita despachar inmediatamente a obra contra pedido. Lo anterior, representa una oferta de valor adicional para los clientes ya que asegura que éstos puedan mantener un ritmo constante de avance en las salas de hospitalización.
- La producción Made to Stock (MTS) deberá estar ajustada a la tasa de entrada de demanda (Takt-time), más uno o dos ciclos de producción como máximo, es decir, el Takt-time más 3 o, como máximo, 6 días de inventario. Así, si se demandan 120 unidades mensuales, con frecuencias de despacho semanal, el takt time será de 5 días productivos y la tasa de producción, de 6 módulos por día productivo, lo que implica que la empresa nunca deberá tener menos de 30 tabiques estoqueados (producción de una semana), ni más de 66 (demanda de una semana, más 6 días de inventario, equivalentes a dos ciclos productivos), garantizando así su cuota de demanda inmediata.

2.5 ETAPA DE LOGÍSTICA

En esta sección se presentan las consideraciones que deberán tomarse para la manipulación, izaje y transporte de los elementos, tanto en planta, como en ruta y en obra. Las consideraciones toman en cuenta las dimensiones y peso de cada módulo por separado, así como del kit estandarizado por sala.

2.5.1 Condiciones para la manipulación e izaje

A continuación, se presentan los aspectos a tener en consideración para la correcta manipulación tanto en planta como en obra de los módulos terminados y de los kits, considerando su peso, dimensiones e integridad estructural.

2.5.1.1 Consideraciones para la manipulación de los módulos

En primer lugar, es necesario considerar que un módulo tiene un peso neto aproximado de 190 kg a 220 kg. por lo que no puede ser manipulado sin la utilización de maquinaria de transporte e izaje, especialmente cuando es necesario tomar el módulo desde una posición horizontal y llevarlo a una orientación vertical o viceversa. Además, los módulos tienen una superficie de 7,2 m², que causa que éstos puedan moverse por el viento o roce, causando esfuerzos que puedan girar o botar un módulo, causando accidentes. En consecuencia, los módulos deberán estar siempre anclados en su posición inferior y sostenidos o amarrados en su extremo superior cuando estén en posición vertical. En posición horizontal, se recomienda que éstos estén montados sobre una plataforma móvil, que evite en todo momento tener que levantar o tomar el elemento.

Dado que el elemento sólo tiene terminaciones en una cara, es necesario protegerla y apoyar el elemento siempre por su cara con estructura a la vista. Además, el hecho de que todas las instalaciones estén sobre el eje frontal y terminen en una placa de terminales en la cara cubierta, facilita la manipulación del elemento.

Una vez concluida la manufactura del módulo, este deberá ser inmediatamente protegido utilizando film alveolar o plásticos envolventes resistentes a roce y cortes. La estructura autosoportante facilita el enganche de los mecanismos de izaje, por lo que, dejando el espacio suficiente en la sección superior, se podrá izar fácilmente con una grúa camión o similar el elemento para posicionarlo en su jaula de transporte. La jaula deberá contar un sistema de fijación de la porción inferior y/o superior del tabique para asegurar que éste mantenga su posición vertical en todo momento durante la manipulación posterior y transporte.

Una vez montados todos los elementos del kit en la jaula de transporte, no se requerirá manipular nuevamente el módulo por sí sólo hasta la fase de fijación y conexión final en la etapa de montaje. Por ende, la jaula deberá ser diseñada para facilitar la manipulación, izaje y transporte del kit completo.

2.5.1.2 Consideraciones para la manipulación del kit

El kit tiene un peso total cargado, considerando la jaula, ligeramente inferior a 1 tonelada, por lo que puede ser manipulado tanto grúas torre, como grúas camión y montacargas. Debido a las características de la jaula de transporte, y considerando que los kits sean transportados en camiones abiertos, lo más práctico es utilizar sólo una grúa para manipular los kits hasta su posicionamiento en el acceso del nivel donde serán instalados.

El sistema contenedor del kit deberá asegurar en todo momento que los elementos no se golpeen, se muevan ni sufran esfuerzos producto de cargas o impactos, por lo que debe contar con rigidez estructural y fijaciones para cada elemento. La incorporación de una base móvil, facilitará que el kit pueda ser arrastrado por maquinaria pequeña dentro de la obra hasta su posición final.

Cabe mencionar que, dado el peso y dimensiones de 2,6 m de largo, por 1,2 m de ancho y 3,2 m de alto, el kit constituye una carga pesada de alto volumen, por lo que debe ser monitoreada durante todo su proceso de manipulación y transporte por riggers que guíen a los operadores de maquinaria y que se aseguren de las condiciones de seguridad para la mano de obra durante todo el movimiento. Durante el izaje y debido al tamaño de la sección, si existe viento se podrá requerir la consideración de una grúa camión o equipamiento similar que apoye la labor de la grúa torre.

Por último, las dimensiones del elemento deben considerarse para planificar la logística desde la descarga del camión hasta la instalación en el sitio final. Lo anterior implica trazar tempranamente las rutas del elemento, asegurando que las luces entre elementos existentes en la obra permitan el paso del elemento y los equipos de transporte utilizados.

2.5.2 Condiciones de transporte

Las dimensiones de los kits permiten que se transporten módulos para 4 o hasta 6 salas de hospitalización completas en un camión de tamaño similar a los utilizados para el transporte de baños. Los kits deberán ser transportados en posición vertical, considerando que su altura de 3,2 m, hace preferible que se transporten en camiones de planta de carga abierta. Dado que los kits contienen una base móvil, también se deberán considerar mecanismos de fijación para las bases y cuerpo de cada uno de los kits que aseguren las maniobras de transporte.

Los kits tienen una altura de piso a cota superior de 3,2 m. Por ende, deberá considerarse que los mecanismos de transporte cerrados tengan una altura libre de al menos 3,5 m. Así mismo, para la planificación de las rutas de transporte, deberá considerarse que los pasos bajo nivel y/o pasos restringidos tengan una altura libre permitida de al menos 5 m. para que los camiones que carguen los módulos puedan transitar sin problemas. Si se consideran camiones de planta de carga libre, se debe considerar que la cota más alta del camión cargado será de aproximadamente 4,4 m.

Para el transporte en terreno, se deberán considerar alturas libres de al menos 4 metros para garantizar el tránsito de los baños con su base soportante sobre grúas horquilla o carros de transporte. Así mismo, para el ingreso del elemento a la estructura existente del proyecto (obra gruesa), se deberán considerar accesos con luces de al menos 1,5 m de ancho y 3,5 m de alto.

Por último, es necesario asegurar la integridad de los elementos dentro del kit durante su manipulación y transporte. Por lo tanto, se recomienda que cada elemento y/o componente sea protegido por medio de placas protectoras, protecciones acolchadas de poliestireno expandido, film alveolar o plásticos envolventes que aseguren que su integridad durante la manipulación, evitando que se deterioren, sufran impactos o rayas durante el proceso logístico.

2.6 ETAPA DE MONTAJE

Los tabiques técnicos tienen un nivel de terminación superior al 60%, que, al considerar que los perfiles verticales a los cuales se ancla ya se han instalado previamente, implican un avance global cercano al 75% de la partida. La cara interior llega completamente terminada a obra, al igual que la estructura soportante y las pasadas de las instalaciones. En obra se debe anclar cada tabique a los perfiles soportantes, luego conectar las instalaciones a las acometidas de sobre cielo, incorporar el sobre tabique pre-armado en la parte superior del muro, sobre el cielo de la habitación y finalmente tapar la cara exterior utilizando las placas pre-dimensionadas incorporadas en el kit.

La duración estimada de las operaciones requeridas para instalar una sala completa, compuesta de 3 tabiques técnicos y sus tres secciones de tabique sobre cielo tomará aproximadamente 4 horas efectivas in-situ. Por ende, si se utilizan kits completos industrializados, cada cuadrilla podrá instalar un máximo de dos muros de tabique técnico de sala, equivalentes a 6 camas de hospitalización.

Los módulos se deben anclar a los perfiles previamente montados en la estructura por medio de fijaciones de anclaje. Además, se requiere anclar el perfil del marco inferior del tabique al montante horizontal previamente instalado, o bien, si las especificaciones de diseño lo requieren, anclar el perfil de marco inferior directamente a la losa, removiendo así más grados de libertad del tabique.

Las tomas de las instalaciones a gases y corrientes emergen verticalmente del módulo y tienen codos de 90° para conectarse horizontalmente a las acometidas de instalaciones sobre cielo técnico. Por ende, permiten conectarse de manera horizontal a una altura pre-definida de las instalaciones sobre cielo falso, o bien, retirar los codos para conectarse verticalmente a tomas de instalaciones por sobre dicha altura.

El tabique sobre cielo deberá tener el mismo espesor que el tabique interior, permitiendo que se ancle fácilmente a éste por medio de la unión de sus perfiles de marco. Finalmente, el tabique exterior puede ser tapado con las placas pre-dimensionadas y terminadas, una vez que se hayan verificado todas las conexiones.

2.6.1 Consideraciones para la planificación del montaje

Los tabiques son despachados a obra en lotes de 4 o 6 kits por camión. Su descarga del camión se realiza directamente con grúa hasta el nivel donde se ubicará finalmente cada kit. Debido a que cada empaque de transporte permite directamente en enganche a la grúa y su izaje, la labor de descarga y puesta en terreno toma aproximadamente 8 minutos por kit, considerando un alcance de grúa promedio de 90 m y una altura promedio de izaje de 3 pisos, o 12 a 13 m, considerando hospitales de 4 a 6 pisos promedio. Por ende, un camión completo con 6 kits puede ser descargado y puesto en obra en menos de 60 minutos.

Posteriormente su plazo de desplazamiento hasta la posición final dependerá fundamentalmente de la ruta trazada y distancia entre el punto de acceso y posición final del elemento. Considerando que el punto de acceso se ubique en un radio máximo de 32 metros de distancia hasta la posición final y que la base móvil del empaque permite arrastrar fácilmente los kits, se estimarán 15 minutos para el movimiento en nivel, descarga y preparación del kit para su anclaje.

Cada kit contiene 3 sets de elementos pre-fabricados que deben ser descargados y presentados en su posición final, para lo cual se estima un tiempo aproximado de 50 minutos. Esto considera, retirar las barreras del empaque protector, tomar cada uno de los módulos de tabique y ubicarlos frente a su posición, luego izar cada módulo hasta presentarlo en su ubicación.

El procedimiento de anclaje y conexión de las acometidas toma aproximadamente 30 minutos para un módulo con las características del elemento prototipado. Luego, el proceso de terminaciones, considerando el uso de elementos pre-fabricados, hasta recepción podrá durar alrededor de 25 minutos adicionales por sección. De esta forma, el tiempo desde la descarga de un kit hasta la presentación de los tres módulos en posición es de alrededor de 75 minutos, el anclaje y conexión de los tres módulos toma 90 minutos, mientras que la terminación del muro de la sala de hospitalización toma 75 minutos adicionales, totalizando así, un tiempo estimado total de manipulación, montaje y terminación, hasta recepción, de 4 horas por muro de sala.

Los requerimientos de personal corresponden a:

En descarga, izaje y puesta en nivel:

- Un operador de grúa
- Dos riggers (uno con grúa a nivel de terreno y otro a nivel de piso en punto de acceso).
- Dos jornales apoyando la labor de enganche en camión.

En descarga de plataforma y manipulación hasta puesta en sitio:

- Un operador de equipo menor de izaje y transporte
- Un rigger (acompaña y guía a operador)
- Cuatro jornales en fase desde llegada a sitio, descarga kit y preparación

En fase de montaje e instalación:

- Un operador de equipo menor de izaje y transporte
- Un rigger
- Dos especialistas durante anclaje elemento
- Dos especialistas en conexión a instalaciones
- Dos jornales de apoyo en maniobras de izaje

En fase de terminaciones:

- Una cuadrilla de tabiqueros, yeseros y revestimientos (tradicional),

ó

Dos especialistas en panelería (industrializado).

- Un operador equipo menor
- Un rigger equipo menor
- Un jornal de apoyo

El requerimiento total de mano de obra corresponde a 22 HH entre descarga, manipulación, montaje, instalación y terminación del recinto, de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 31. Requerimiento de mano de obra para instalación de tabique técnico

Operación	Descarga y manipulación	Transporte y manipulación	Desarme kit y preparación 3 módulos	Anclaje e Instalación 3 módulos	Terminaciones tres módulos
Duración	10 min	15 min	50 min	90 min	75 min
Personal					
Operador Grúa	1				
Operador equipo liviano	1	1	1	1	1
Rigger	1	1	1	1	1
Jornales	2	4	4	2	1
Especialistas montaje				2	
Especialistas Instalaciones				2	
Especialistas Panelería					2
Total personal por operación	5 PAX	6 PAX	6 PAX	8 PAX	2 PAX
Total HHs por operación	0,8 HH	1,5 HH	5 HH	12 HH	2,5 HH
Total HHs por módulo	16 HH				

Considerando exclusivamente las faenas de anclaje e instalación, una cuadrilla de 4 especialistas, apoyado por dos jornales y un equipo menor tendrá capacidad para instalar 2 salas / jornada, equivalentes a 6 módulos de tabique técnico. Así, tres cuadrillas de especialistas con sus jornales de apoyo y dos equipos menores, con operador y rigger, serán capaces de instalar 6 kits en obra, equivalentes a 18 camas de hospitalización en un día.

2.6.2 Consideraciones para el montaje de los elementos

El procedimiento de manipulación del kit desde enganche en camión hasta puesta en nivel de obra es:

- 1) Enganchar el kit a la grúa.
- 2) Izar el kit y desplazarlo hasta apoyarlo en el punto de entrada del elemento en el nivel del edificio donde se ubicará.
- 3) Recepcionar en kit en el punto de acceso, posicionarlo dentro de la obra, asegurarlo y remover los enganches
- 4) Enganchar el kit a un equipo menor y desplazarlo sobre su base, desde el punto de acceso al nivel hasta su ubicación final.
- 5) Presentar el kit en su posición para descarga previo a anclaje

El procedimiento de descarga del kit consiste en:

- 1) Remover las barreras de los costados del kit
- 2) Remover los elementos de protección
- 3) Desplazar manualmente las placas de terminación de las caras exteriores y las secciones de tabique sobre cielo
- 4) Utilizando el equipo menor y con la ayuda de jornales, tomar cada módulo, izarlo y transportarlo hasta su ubicación final, fijándolo hasta que se hayan conectado los anclajes mínimos para transferir el esfuerzo a los perfiles soportantes.

Una vez que cada módulo ha sido presentado en su ubicación final, se debe iniciar la fase de montaje. Esto implica incorporar todas las fijaciones a perfiles, montantes y/o losa:

- 1) Remover los elementos de protección del marco del elemento.
- 2) Presentar los perfiles del marco a los perfiles soportantes.
- 3) Anclar por medio de fijaciones entre los perfiles del marco, los perfiles soportantes, montantes y/o losa.

Una vez anclado el módulo, se realizan las actividades de instalaciones:

- 1) Conectar las tomas de gases
- 2) Conectar las tomas de corrientes

Durante todas las operaciones anteriormente mencionadas, la cara anterior del tabique estará descubierta para permitir trabajar en las instalaciones por fuera del recinto. Al término del montaje, el elemento tendrá un grado de terminación del 95%, mientras que la zona adyacente habrá alcanzado un grado de terminación equivalente al 85%. Las tareas de terminación requeridas previa a la recepción corresponden a:

Trabajos de terminación final en módulo y zona adyacente:

- 1) Instalar las placas de tabique verticales pre-dimensionadas y terminadas en las caras exteriores de los módulos, sellando el paso a las instalaciones.
- 2) Instalar el tabique sobre cielo, sobre el tabique técnico de la habitación por medio de la fijación de los perfiles de sus marcos.
- 3) Anclar la sección superior del tabique sobre cielo a la losa superior.
- 4) Tapar el tabique superior.

2.7 INSPECCIONES Y RECEPCIÓN DEL TABIQUE TÉCNICO CON LÍNEA DE VIDA

2.7.1 Inspecciones en planta

La inspección en planta debe realizarse en dos instancias: Previo a la incorporación de las caras y terminales al marco estructural, y previo al empaque y carga de los módulos.

Inspección previa a montaje:

Inspección visual del marco:

- 1) Verificar medidas del marco base y altura del marco.
- 2) Verificar plomos del marco y escuadras de base y cielo.
- 3) Verificar alturas de montantes.
- 4) Verificar pasadas de instalaciones.
- 5) Verificar posición y fijación de la placa de instalaciones.
- 6) Verificar fijaciones de instalaciones a marco y placa.

Inspección visual de las placas:

- 1) Dimensionado
- 2) Posición y calidad terminales
- 3) Estado general de placas y recubrimientos

Inspección visual previa a empaque:

- 1) Inspección general con lista de chequeo de la estructura, cara interna, instalaciones y terminales para cada módulo.

- 2) Inspección de calidad de todos los elementos de kit y completitud de la orden.
- 3) Inspección de los sistemas de protección de los kits.
- 4) Inspección del sistema de transporte envolvente del kit.

2.7.2 Inspecciones en obra

El procedimiento de recepción de los kits en ingreso a obra corresponde a:

- 1) Inspección del itemizado de orden para revisar que se entregaron el número correcto de módulos, con su kit completo, incluyendo, si es que se han solicitado en la orden, las placas complementarias de: Caras exteriores y tabiques sobre cota de cielo.
- 2) Inspección de la guía de recepción de calidad de cada kit efectuada en obra, previo a protección y empaque para transporte, verificando que el kit haya pasado por todas las inspecciones internas y externas antes del empaque, sin observaciones de calidad.

El procedimiento de recepción de los módulos al momento de la descarga del kit en terreno corresponde a:

- 1) Inspección visual de las condiciones de los elementos de protección y empaque, para evaluar si algún elemento puede haber sufrido daños o deterioro durante la fase de transporte y manipulación.
- 2) Si existe daño evidente en los elementos de protección o la falta de éstos, el encargado de calidad deberá revisar completamente la calidad de cada módulo antes de presentarlo.

El procedimiento de recepción de los módulos instalados corresponde a:

- 1) Inspección visual de la cara interior de los módulos por medio de lista de chequeo de calidad de terminaciones, con atención especial en terminales, calidad de las uniones y juntas entre placas.
- 2) Inspección visual de las uniones entre marco y perfiles soportantes, en la cara anterior.
- 3) Inspección visual conexión de instalaciones.
- 4) Pruebas de estanqueidad, fugas y presión de instalaciones de gases.
- 5) Pruebas de funcionamiento de conexiones eléctricas.
- 6) Inspección visual de la zona adyacente por medio de lista de chequeo de calidad de recintos, considerando, al menos, terminaciones caras exteriores módulo, terminaciones tabique sobre cielo y condición de la obra adyacente.

ANEXOS

1 ANEXO A: METODOLOGÍA DE PRIORIZACIÓN

En este anexo se entrega la metodología utilizada para priorizar partidas de un proyecto de salud que serán industrializadas y, por lo tanto, generarán más ventajas comparativas respecto a las versiones tradicionales, además se incluirán las recomendaciones para que el proceso pueda hacerse de forma exitosa. Si bien no se trata de una fase crítica del proyecto (debido a su condición opcional), se recomienda considerarlo en caso de restricción presupuestaria.

1.1 Método Analítico Jerárquico

La metodología aplicada para realizar el proceso de priorización es el Método Analítico Jerárquico (*Analytic Hierarchy Process* en inglés o AHP), una técnica o proceso que utiliza modelos matemáticos complejos para la toma de decisiones complejas (Moreno-Jiménez, 2002)⁴⁴. Este método es de carácter discreto, por lo que la base del cálculo es una medición de la preferencia relativa de las alternativas mediante una clasificación según los atributos necesarios a evaluar. Se trata de una aproximación cuantitativa de una preferencia cualitativa (Taoufikallah, 2013)⁴⁵. No obstante, las respuestas parciales son posibles de ser integradas en una única solución general.

Este método es de carácter discreto, por lo que la base del cálculo es una medición de la preferencia relativa de las alternativas mediante una clasificación, la cual es más fácil asociarla a una traducción cualitativa que a ser una evaluación cuantitativa. No obstante, las respuestas parciales son posibles de ser integradas en una solución general única sin generar un sesgo en esta. En el contexto de esta guía el método analítico jerárquico se utiliza para asignarle un peso relativo a cada atributo que se utilice para clasificar la priorización de los elementos candidatos.

1.2 Pasos para implementación del AHP

La implementación requiere de una serie de actividades para conseguir el objetivo final: la definición de las partidas priorizadas para pasar a ser industrializadas en su solución productiva y posteriormente la definición del alcance previo a la etapa de diseño. La mejor forma de entender la aplicación del método es a través del flujo que debe seguir para su desarrollo. En los siguientes puntos se presentan un resumen de cada paso, los objetivos de cada una y las principales recomendaciones generales para su óptimo funcionamiento.

⁴⁴ Moreno Jiménez, J.M. (2002). El Proceso Analítico Jerárquico (AHP). Fundamentos, Metodología y Aplicaciones. Departamento Métodos Estadísticos. Facultad de Económicas. Universidad de Zaragoza.

⁴⁵ Taoufikallah, A. (2013). Selección del Sistema de Gestión de la Producción Mediante la Metodología AHP. Universidad de Sevilla.

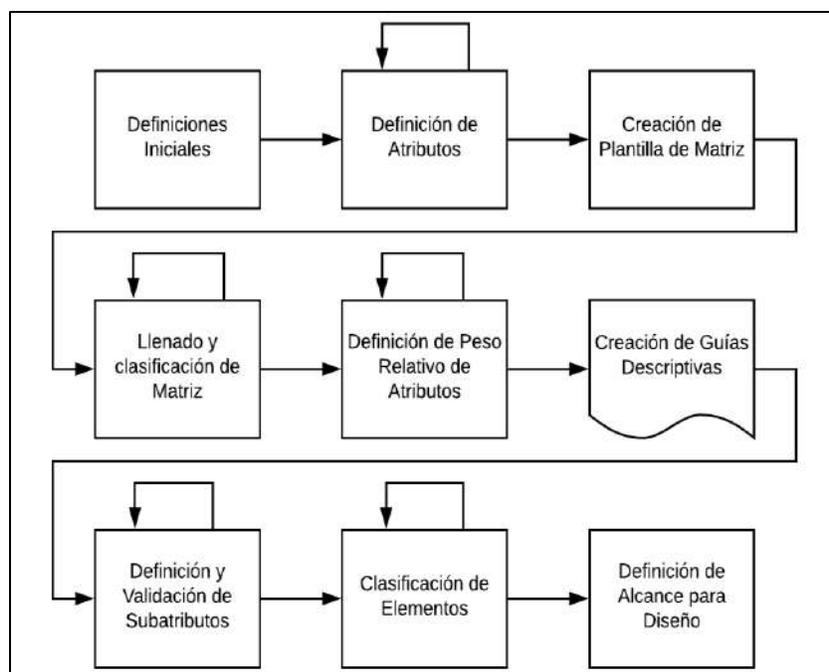


Figura 64. Proceso de Implementación (Fuente: Elaboración Propia)

1.2.1 Definiciones Iniciales

Para poder cumplir con los objetivos del método, lo primero que se recomienda es definir los tipos de sesiones a realizar en la implementación. La combinación y uso de estas sesiones permitirán la realización de la priorización de elementos. La clasificación se hace según el formato y presencialidad de las instancias, además de las personas que participan en cada una de estas. A continuación, se presentan las 3 actividades principales que se recomienda organizar:

- Sesiones de Trabajo (Desde ahora, ST)

Tabla 32. Sesiones de Trabajo

Clasificación	Descripción
Número de Participantes	10 – 20
Presencial	Sí
Participantes	Consultores, Mandantes y Expertos representantes de los Stakeholders
Lugar	Sala de Reuniones
Formato	Duración de 1,5-2 horas. La base es una reunión formal en la que se integran los expertos a discutir temas en tabla y a tomar decisiones en conjunto. Se pueden complementar con actividades específicas para apoyar el levantamiento de información y la toma de decisiones, como <i>brainstorming</i> , votaciones, diseño colaborativo, etc.

- Sesiones a Distancia (Desde ahora, SD)

Tabla 33. Sesiones a Distancia.

Clasificación	Descripción
Número de Participantes	8 - 15
Presencial	No
Participantes	Expertos representantes de los Stakeholders
Formato	Duración de actividad: 1 hora. La base es un formulario o planilla de respuestas preparada por la consultora para ser contestada por los expertos presentes en el estudio. Esto debe estar acompañado por una guía para apoyar la comprensión de las herramientas a utilizar en la instancia (puede ser a través de un documento o un video explicativo).

- Sesiones Internas (Desde ahora, SI)

Tabla 34. Sesiones Internas.

Clasificación	Descripción
Número de Participantes	3 - 5
Presencial	Sí/No
Participantes	Consultores, Mandantes y Expertos ligados a la consultora.
Formato	Duración de actividad: 1 hora. Es una actividad de carácter abierto respecto del formato que se utilice, pero que sirve para hacer consultas metodológicas, recoger recomendaciones de los expertos internos y externos.

En adición a esto, y con el objetivo de complementar estas definiciones, se recomienda identificar a cada uno de los potenciales participantes, los cuales se dividen en coordinadores, expertos metodológicos, expertos asesores y expertos representantes de *stakeholders*, como por ejemplo lo que se detalla en la Tabla 35.

Tabla 35. Tabla resumen de *Stakeholders*

Participantes	Descripción	Ejemplos
Coordinadores	Profesionales a cargo de coordinar las actividades para la implementación.	Ingenieros, Constructores, Arquitectos.
Expertos Metodológicos	Profesionales que apoyan y validan a los coordinadores en aspectos metodológicos.	Investigadores, Profesionales altamente calificados.
Expertos Asesores	Profesionales que apoyan y validan a los coordinadores en	Arquitectos Hospitalarios, Fabricantes de Construcción

	aspectos técnicos y normativos.	Industrializada, Técnicos de Especialidades, Transportistas.
Expertos Stakeholders	Profesionales que representan a los stakeholders de las etapas de la industrialización de los proyectos de salud.	Arquitectos hospitalarios, Constructores de Proyectos de Salud, Representantes del Ministerio de Salud, Médicos/as, enfermeros/as, pacientes.

1.2.2 Definición de Atributos

El objetivo de esta actividad es decretar los atributos que serán utilizados para ejecutar el AHP. Para esto se recomienda realizar un *Brainstorming* a través de una SI. El catalizador del *Brainstorming* consistirá en una tabla donde se presente el cruce entre los *Stakeholders* y las Etapas del Proceso de Industrialización (presentados en la parte D2 de la Parte 1 de esta Guía) de acuerdo a la Tabla 39.

Tabla 36. Plantilla para *brainstorming*.

	Diseño	Fabricación	Logística	Montaje	Operación
S1 - Mandante					
S2 - Diseñador					
S3 - Proveedor					
S4 - Constructor					
S5 - Operador					
S6 - Usuario Final					
S7 - País- Industria					

La idea es que en la actividad salgan ideas de potenciales atributos, Luego de eso, se realiza la recopilación de las, limpieza, combinación, clasificación en cada uno de los cuadrantes de la tabla y elección de todas las ideas, para luego elegir hasta 12 atributos iniciales de priorización que puedan seguir al próximo paso. Estas quedan resumidas en la Lista de Atributos Iniciales. Esta lista debe ser complementada ahora con un set de 3 a 4 subatributos para cada atributo, los cuales expresan indicadores. Algunas recomendaciones para buenas prácticas en la actividad son las siguientes:

- Fomentar la propuesta de cualquier clase de ideas, sin discriminarlas hasta el final de la actividad (no existen ideas malas).

- Utilizar sólo estas dos dimensiones para el cruce, para no hacer más compleja la actividad.
- Previo a realizar la actividad, identificar cuáles serán los cuadrantes activos, es decir, cuáles cuadrantes representan los cruces de mayor interés y, por ende, de donde puedan identificarse atributos en donde se pueda medir mejor el valor.
- Generar máximo 10 atributos (de lo contrario, el proceso se complejiza posteriormente).
- Presentar la descripción o alcance del atributo.
- Verificar que los atributos posean más o menos un alcance equilibrado.
- Revisar compatibilidad y posibles traslapes entre cada uno de los atributos
- Validar los atributos con los *stakeholders*.

1.2.3 Creación de Plantilla de Matriz

Desde este paso en adelante se comienza lo planteado por el Método Analítico Jerárquico. Las ideas recopiladas en la Lista de Atributos Iniciales deben contraponerse entre sí en una matriz de $n \times n$ (siendo n el número de atributos en lista y A_n el número del atributo) con “1’s” en la diagonal principal. Esta plantilla sirve para que se pueda clasificar la importancia relativa de cada atributo respecto del resto. A continuación, en la Figura 65 un ejemplo de plantilla:

	A01	A02	A03	A04	A05	A06	...	A_n
A01	1							
A02		1						
A03			1					
A04				1				
A05					1			
A06						1		
...							...	
A_n								1

Figura 65. Ejemplo de plantilla de Matriz

Respecto a esta actividad se recomienda lo siguiente:

- Pueden participar cualquiera de los expertos, menos los metodológicos.
- Dado lo complejo de la clasificación, se recomienda realizar esta actividad a través de una SD.
- Si la plantilla se envía para una SD, debe venir bien explicada paso a paso para evitar errores.

1.2.4 Llenado y clasificación de la matriz

Se recomienda realizar una Actividad a Distancia con los *stakeholders* que representen o participen en las dimensiones que fueron definidas anteriormente, ya que le entregan una visión más integral a la clasificación. A ellos se les debe hacer entrega de la definición y alcance de los atributos, con tal de que todos posean la misma información previo a la clasificación. La forma de llenado es según el Método Analítico Jerárquico (Moreno-Jiménez, 2002)⁴⁶.

La preferencia o importancia relativa de un atributo con respecto de otro se mide gracias a la comparación pareada de las filas con respecto de las columnas. El método utiliza una escala de enteros de 1 a 7 para cuantificar una preferencia de carácter cualitativo. Aquella escala tendría la siguiente traducción (Tabla 40).

Tabla 37. Traducción cualitativa de los valores cuantitativos.

VALOR CUANTITATIVO	PREFERENCIA CUALITATIVA
1	F es igual de importante que C
3	F es moderadamente más importante que C
5	F es fuertemente más importante que C
7	F es muy fuertemente más importante que C

Siendo 'F' el atributo comparado de la Fila y 'C' el de la columna. Si llega a pasar que, en una celda de la matriz, el atributo de la columna fuese más importante que el de la fila, se utilizan los inversos multiplicativos de estos valores cuantitativos. Luego del llenado de la matriz, este se debe traspasar al cálculo (hay alternativas en la red, tanto online como plantillas Excel), en donde se eligen el número y nombre de los atributos para después hacer las comparaciones pareadas. Una vez ingresado, se chequea el índice de Consistencia (CR), el cual debe ser menor al 10% para que las priorizaciones tengan una consistencia aceptable para el estudio. En caso de no cumplir aquel requerimiento, deben revisarse los puntos de conflicto para reclasificarlas, volver a iterar las comparaciones pareadas y volver a calcular el CR. Todo esto se vuelve a iterar hasta que se cumpla el requisito del $CR < 10\%$.

Una vez lograda la consistencia, para poder obtener los resultados finales, en cada atributo-fila se suman todos los valores-columna y luego se dividen por el total de la suma de todos los valores de la matriz. Con ello se obtiene el peso relativo de cada atributo. Luego de obtener todas las respuestas, para cada una de éstas se calculan las ponderaciones parciales de cada atributo. Algunas recomendaciones para este paso:

- Independiente del número de expertos participantes, estén todos o la mayor parte de los *stakeholders* representados en las respuestas.
- Que los expertos representantes de los *stakeholders* sean los que rellenan esta actividad.

⁴⁶ Moreno Jiménez, J.M. (2002). El Proceso Analítico Jerárquico (AHP). Fundamentos, Metodología y Aplicaciones. Departamento Métodos Estadísticos. Facultad de Económicas. Universidad de Zaragoza.

- Entregar a los participantes del llenado la descripción exacta y final de los atributos, para que todos manejen la misma información.
- Utilizar plantillas de excel presentes en internet para el cálculo de los ponderadores y consistencia.

1.2.5 Definición del peso relativo de los atributos

En esta actividad se reúnen y consolidan todas las ponderaciones parciales de la parte anterior en una sola lista. Esto se realiza mediante una suma normalizada paralela de todas las respuestas para cada atributo. Luego de esto, se utiliza esta lista como referencia de las preferencias de los atributos para construir una matriz consolidada utilizando ingeniería inversa.

Se deben reunir todas las respuestas de la AD anterior para luego consolidarlas mediante una suma normalizada paralela de todas las respuestas para cada atributo. El resultado es un listado consolidado de ponderaciones parciales para cada atributo (en el cual, si la normalización fue correcta, debiese sumar 100% en total) En base a las respuestas de los expertos, se consolidaron los pesos relativos correspondientes mediante una suma normalizada paralela para cada atributo.

Para que el listado definitivo tenga consistencia metodológica, se utiliza el listado parcial normalizado para orientar en ordinalidad y magnitud el llenado de una Matriz Consolidada mediante ingeniería inversa. Se utiliza la misma escala del punto anterior para cuantificar la cualidad que tiene un atributo sobre otro. Una vez llenada, se repiten los pasos de la iteración del índice de consistencia, hasta que este sea menor al 10%. A continuación, se ve un ejemplo en el que una suma normalizada de tablas parciales de ponderadores orienta la matriz consolidada:

ATRIBUTO	PONDERACIÓN	Atributo	A01	A02	A03	A04	A05	A06	A07
A01	30,00%	A01	1	3	3	3	3	4	4
A02	20,00%	A02	1/3	1	2	2	2	3	3
A03	15,00%	A03	1/3	1/2	1	2	2	3	3
A04	11,00%	A04	1/3	1/2	1/2	1	2	2	3
A05	9,00%	A05	1/3	1/2	1/2	1/2	1	2	2
A06	8,00%	A06	1/4	1/3	1/3	1/2	1/2	1	2
A07	7,00%	A07	1/4	1/3	1/3	1/3	1/2	1/2	1

Figura 66. Traspaso de ponderadores normalizados a Matriz Consolidada

Es posible observar en el ejemplo que el Atributo A01, el cual posee mayor ponderación, demuestra en la matriz consolidada aquella superioridad, y los valores de la escala con respecto al cruce con cada atributo es qué tan mayor es respecto a cada uno de ellos. Esa conversión debe realizarse para el resto de los cruces.

Teniendo una matriz consolidada y consistente, se repite el paso para obtener el peso específico de cada atributo. De esta forma se obtiene la Tabla de Ponderadores Consolidada. Si esta tabla dista mucho de la Tabla Parcial de Ponderadores Normalizados, se deben iterar con otros valores de la escala en la matriz hasta que haya consistencia en ordinalidad y orden de magnitud.

Para la validación de estos resultados, se recomienda realizar una AD para comprobar que los valores de los pesos específicos estén bien, mediante el empleo de un caso obvio de comparación.

Algunas recomendaciones para el cálculo de la lista consolidada de ponderadores:

- Validar los valores de la lista consolidada de los ponderadores para ver si les hace sentido a los expertos
- Que la lista de ponderadores consolidada conserve la ordinalidad y orden de magnitud de los pesos específicos

1.2.6 Creación de Guías Descriptivas

Con el objetivo de entregar información clara de los aspectos técnicos, espaciales, dimensionales y funcionales de cada elemento candidato, se debe elaborar un documento técnico que caracterice cada una de las soluciones disponibles en la lista candidata. Cada documento debe tener una aproximación de la explicación de la morfología de las soluciones, características técnicas y requerimientos normativos, constructivos y de diseño del elemento.

1.2.7 Definición y Validación de Subatributos

A partir del alcance y definición de cada uno de los atributos, se construyen entre tres y cuatro subatributos para cada uno, los cuales funcionan como indicadores de rendimiento. Aquellas dimensiones son revisadas una por una por los expertos mediante una AD para que anexaran observaciones para que posteriormente se puedan realizar las siguientes acciones (entre otras):

- Crear nuevos subatributos.
- Modificar subatributos.
- Eliminar subatributos.
- Mezclar subatributos.
- Redefinir subatributos.
- Cambiar subatributo a un atributo pertinente.

Algunas recomendaciones para esta actividad:

- Los indicadores deben abarcar completamente cada uno de los alcances de los atributos
- Realizar una validación de todo lo generado con los expertos.

1.2.8 Clasificación de elementos

Cada elemento es clasificado por cada uno de los miembros del comité experto mediante una AD asignándole una nota en una escala Likert de cero a tres puntos a cada uno de los subatributos de la clasificación (0 para bajo rendimiento, 1 para rendimiento medio bajo, 2 para rendimiento medio alto, 3 para alto rendimiento). Para obtener los puntajes finales se utilizan tres vías de cálculo, las cuales tienen solo una media, ponderación y suma en distintas combinaciones (utilizar más de una vez cada una de estas operaciones en una vía de cálculo conlleva a forzar una cuantitividad que no existe en una clasificación cualitativa como esta. Al finalizar la Actividad a Distancia se obtienen

los resultados: un *ranking* de preferencias de los elementos, de los cuales se eligen los n primeros elementos.

Algunas recomendaciones para esta parte:

- Considerar que esta actividad requiere un tiempo considerable para que la definición de subatributos tenga la validez que lo requiere
- Al momento de clasificar un elemento se debe tener en cuenta el resto de los elementos de la lista, para mantener la consistencia en los resultados.

1.2.9 Validación Resultados

Para que haya conformidad con los resultados obtenidos, se recomienda realizar una Sesión de Trabajo para presentar el ranking de preferencia de elementos a los expertos. En caso de que no haya conformidad, exponer la consistencia del método en las distintas vías de cálculo, presentar los resultados parciales en donde haya conflicto en la clasificación (por ejemplo, las clasificaciones parciales que consideren otros elementos como prioritarios, y no los que arroja el ranking de preferencias). La sesión debe concluir con la lista definitiva de elementos seleccionados, con la conformidad unánime del comité. Algunas recomendaciones se detallan a continuación:

- A pesar de que se deben discutir los resultados, las preguntas catalizadoras deben ser claras y conducentes a resoluciones para que se pueda aprovechar el tiempo generando más resultados.
- Tener el respaldo de los cálculos y de las respuestas parciales en caso de que a algún experto no le hagan sentido los resultados.

1.2.10 Definición de Alcance

Para continuar, lo que ahora se define son las características y dimensiones que se trabajarán de los elementos seleccionados a desarrollar. La instancia para lograr esto puede ser a través de la misma Sesión de Trabajo en la que se hizo la validación de la elección de elementos. El tamaño del alcance depende en primera medida de la dedicación máxima que le da la consultoría al desarrollo del catálogo y guía técnica. Algunas preguntas que podrían ayudar para la definición del alcance se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 38. Preguntas recomendadas para formular el alcance de los elementos elegidos.

DIMENSIÓN	PREGUNTAS PARA EL ALCANCE
USUARIO	<ul style="list-style-type: none"> - Número de Usuarios - Tipos de Usuarios - Restricciones de Uso - Universalidad del Acceso - Ergonomía Espacial - Iluminación - Etc.
DIMENSIONES	<ul style="list-style-type: none"> - Ancho, largo y altura - Característica Modular - Profundidades - Ancho de losa - Espesor de Muro

	- Etc.
MATERIALIDAD	- Revestimientos - Cobertura Pisos - Terminaciones - Cielo - Pinturas - Etc.
FACILIDADES	- Conexiones necesarias - Artefactos necesarios - Quincallería Necesaria - Etc.
MODULAR	- Consideraciones de Modularidad - Flexibilidad - Montaje y apilabilidad con otros módulos. - Modelos de Módulo que se crearán. - Etc.

Algunas recomendaciones respecto a esta actividad:

- Previo a la sesión se recomienda que los coordinadores de la implementación tengan medidas las capacidades internas para conocer las restricciones que tendrán al momento de definir los alcances.
- Se recomienda preparar preguntas catalizadoras para formular el alcance (ver [Error! No se encuentra el origen de la referencia.](#) de la Guía de Priorización de Elementos).

1.3 Detalles para las actividades recomendadas.

En este apartado se presenta la estructura e indicaciones de las actividades recomendadas en los pasos de la implementación de esta metodología detallados anteriormente.

1.3.1 SD para Validación de Ponderadores (de 1.2.5.)

Con el objetivo de evaluar la consistencia de los pesos relativos de cada atributo, se realiza un ejercicio simple de comparación entre un caso obvio que priorización entre un elemento que es claramente preferible sobre otro sin necesidad de hacer la clasificación.

Paso 0: Preparación de Documentos

Ya que se trata de una Actividad a Distancia, se deben preparar los siguientes documentos que se les debe enviar a los expertos participantes para que su clasificación sea completa:

- Guía Descriptiva de los dos elementos a comparar.
- Guía de la Actividad a Distancia para los expertos.
- Tabla de Llenado Personal.
- Descripción y Detalle de Atributos.

Paso 1: Leer Guías

Una vez que cuenten con toda la información y documentación necesaria, los expertos que participan de esta actividad deben procurar leer ambas guías descriptivas para contar con información completa y realista de los elementos que van a clasificar en la actividad.

Paso 2: Llenado Planilla

La tabla de llenado realizada debe contrastar ambos elementos del caso obvio con los atributos. La actividad consiste en ir clasificando atributo a atributo, según criterio binario, cuál de los elementos aventaja al otro en esa dimensión, aunque el empate también es permitido. La tabla debiese tener una estructura como la que sigue:

Tabla 39. Ejemplo de llenado de la actividad.

Atributo	A01	A02	A03	A04	A05	A06	A07
Criterio de selección	Mayor impacto es deseable	Mayor mejora es deseable	Menor complejidad es deseable	Mayor relevancia es deseable	Mayor estandarización es deseable	Mayor flexibilidad es deseable	Mayor capacidad es deseable
M01	SÍ	SÍ	SÍ	NO	SÍ	NO	SÍ
M02	NO	NO	SÍ	NO	NO	SÍ	NO

Notar que en la segunda fila se integró el Criterio de Selección, el cual es recomendable ya que complementa efectivamente la clasificación. La respuesta binaria “SÍ” representa que el elemento en particular cumple en aquel atributo, mientras que la respuesta “NO” representa un no cumplimiento.

Paso 3: Obtención de Puntaje

Todos los puntos (SÍ = 1 y NO = 0) se multiplican con la ponderación respectiva y con eso se obtiene un puntaje. Los ponderadores son validados finalmente debido a la consistencia de todos los resultados parciales y su respectiva aprobación por parte de los expertos que participan en la actividad.

1.3.2 SD para Elección de Elementos (de 1.2.7.)

Esta actividad tiene el objetivo de elegir en conjunto con los expertos participantes los elementos prioritarios utilizando todo el material generado hasta ahora. Esta votación se realiza mediante la clasificación de cada uno de los elementos con respecto a los subatributos o indicadores definidos previamente. No es necesario contar con los rendimientos exactos de la mejora potencial de la industrialización de un elemento en particular, más allá de que contar con ellos haría más precisa la clasificación.

Paso 0: Preparación de Documentos.

Ya que se trata de una Actividad a Distancia, se deben preparar los siguientes documentos que se les debe enviar a los expertos participantes para que su clasificación sea completa:

- Listado de elementos candidatos.
- Guía Descriptiva de todos los elementos candidatos a clasificar.
- Guía de la Actividad a Distancia para los expertos.
- Tabla de Llenado Personal.
- Descripción y Detalle de Subatributos.

Paso 1: Leer Guías

Una vez que cuenten con toda la información y documentación necesaria, los expertos que participan de esta actividad deben procurar leer ambas guías descriptivas para contar con información completa y realista de los elementos que van a clasificar en la actividad.

Paso 2: Llenado de Planilla

La tabla de llenado consiste en contrastar cada Elemento Candidato con cada subatributo mediante una clasificación utilizando una escala Likert de enteros de 0 a 3, la cual tiene la siguiente traducción de referencia:

Tabla 40. Traducción de referencia Escala Likert

VALOR ESCALA LIKERT (0-3)	TRADUCCIÓN DE REFERENCIA
0	Rendimiento Bajo
1	Rendimiento Medio Bajo
2	Rendimiento Medio Alto
3	Rendimiento Alto

Para que el método funcione, se exige que la clasificación de un elemento candidato en particular se debe hacer en función del resto de los elementos. Solo de esta manera se conseguirá consistencia del mapa completo. Para favorecer esta exigencia, la tabla de llenado personal (para un solo atributo) debiese tener la siguiente estructura de ejemplo:

Atributo	Subatributo	Criterio Básico Clasificación	Dimensiones Escalares		Elementos Candidatos				
			0	3	M01	M02	M03	M04	M05
A01	A01-S1	Facilidad	Baja	Alta					
	A01-S2	Capacidad	Baja	Alta					
	A01-S3	Capacidad	Baja	Alta					
	A01-S4	Capacidad	Baja	Alta					

Figura 67. Ejemplo de Tabla de Llenado

En este ejemplo se plantean 4 subatributos pertenecientes a un atributo en particular y 5 elementos candidatos que someterán a la clasificación. Además, se recomienda contar tanto con el criterio de clasificación (o sea, definir qué se está clasificando específicamente del subatributo en particular) y las traducciones de referencia a la escala Likert. Esto es clave para que todos los participantes hagan la clasificación en el mismo sentido.

El procedimiento para el llenado debiese ser fijar un subatributo y ver el rendimiento relativo de todos los elementos candidatos en él. Por ejemplo, si en el subatributo A01-S1, se clasifica con “3” al elemento M01, pero al mismo tiempo existe un elemento M04 que potencialmente tiene mucho mejor rendimiento, esto quiere decir que, si al clasificar también con un “3” al M04 (ya que es la nota máxima de la escala), esta clasificación no es consistente, porque se asume que el potencial de rendimiento de M01 y el de M04 según el subatributo A01-S1 son iguales.

Una forma de asegurarse de que no haya inconsistencias es revisando la fila completa una vez clasificados todos los elementos candidatos respecto a un subatributo en particular.

Paso 3: Resultados de Cada Elemento

Para obtener los resultados se pueden utilizar tres vías distintas de cálculo. Se consideran los elementos candidatos “i”, los subatributos “j” de los atributos “k” para caracterizar a “Xijkl” como el puntaje del elemento “i” otorgado por el experto participante “l” para clasificar su rendimiento según el subatributo “j”, del atributo “k”. Teniendo además el valor “E” como cantidad de elementos a clasificar, El valor “M” del número de muestras (número de expertos evaluadores) “Sk” como cantidad de subatributos para el atributo “k” y “A” como cantidad de atributos, las vías posibles de cálculo para obtener el Puntaje “Yi” del elemento “i” son las siguientes:

Tabla 41. Modelos para clasificación de preferencia.

Vía de Cálculo	Fórmula Final	Guía de Cálculo
A	$Y_i = \sum_{l=1}^M \sum_{k=1}^A \left(\left(\frac{\sum_{j=1}^{S_k} x_{ijkl}}{S_k} \right) / \left(\sum_{l=1}^M \left(\frac{\sum_{j=1}^{S_k} x_{ijkl}}{S_k} \right) \right) \right)$	<ul style="list-style-type: none"> - Media de Subatributos para un Atributo para cada Muestra. - Ponderación de cada media. - Suma totales de cada muestra.
B	$Y_i = \sum_{k=1}^A \left(\frac{\sum_{j=1}^{S_k} \text{Moda}_{\text{Cada:}j}^{D_{S:l}}(x_{ijkl})}{S_k} \right)$	<ul style="list-style-type: none"> - Moda de muestras para cada subatributo. - Media de subatributos para cada atributo resultante. - Suma totales de cada atributo ponderado.
C	$Y_i = \sum_{k=1}^A \left(\frac{\sum_{l=1}^M \text{Moda}_{\text{Cada:k}}^{D_{S:l}}(x_{ijkl})}{M} \right)$	<ul style="list-style-type: none"> - Moda de subatributos para cada atributo - Media de Muestras para cada Atributo. - Suma totales de cada atributo ponderado.

El puntaje calculado Y_i definirá los elementos prioritarios. A mayor Y_i , el elemento i es más preferible o prioritario. Para poder tener la relación ordinal entre elementos, estos solo se pueden comparar en puntaje sí y solo sí esto se hace dentro de una misma vía de cálculo. Es por esto que se debe realizar una lista del ranking según cada vía de cálculo. Notar que puede haber pequeñas diferencias entre un ranking y otro, pero por lo general no posee inconsistencias. Para poder obtener el consolidado del ranking de preferencias, se puede utilizar la moda para cada elemento.

Vía de Cálculo	Ranking Elementos Candidatos				
	M01	M02	M03	M04	M05
A	5°	4°	2°	1°	3°
B	5°	4°	3°	1°	2°
C	5°	4°	2°	1°	3°
CONSOLIDADO	5°	4°	2°	1°	3°

Figura 68. Ejemplo de consolidación de rankings

1.3.3 SD para Validación de Atributos y Subatributos (de 1.2.6)

Esta actividad tiene el objetivo de evaluar la completitud de criterios que tienen los atributos y subatributos levantados. También se evalúa si es que estos están en la vía de cumplir con los objetivos del estudio y si es que los subatributos son buenos indicadores de cada uno de los atributos o si debiesen ser modificados, cambiados de atributo o simplemente eliminados.

Paso 0: Preparación de Documentos

Ya que se trata de una Actividad a Distancia, se deben preparar los siguientes documentos que se les debe enviar a los expertos participantes para que su clasificación sea completa:

- Planilla o formulario que contenga el listado completo de atributos y subatributos, junto a su respectiva descripción y un espacio para comentar cada uno de ellos.
- Guía de la Actividad a Distancia para los expertos.

Paso 1: Leer Descripciones

Los expertos participantes deben leer las descripciones de cada uno de los atributos y subatributos antes de partir la evaluación. Este paso es importante, ya que el experto estará en conocimiento si algún indicador que hace falta en un atributo ya está siendo considerado en otro.

Paso 2: Llenado Planilla

La tabla de llenado realizada por la consultoría debiese dejar espacio para comentar absolutamente todos los conceptos presentados, para que se cuestionen desde el nombre de los atributos hasta aspectos más generales. Para realizar una recopilación eficiente de las apreciaciones y comentarios, se recomienda dejar todos los espacios rellenables en una sola columna, para que, al consolidarlas, cada columna represente la respuesta total de un solo experto.

Paso 3: Recopilación

En un documento consolidado se integran las columnas-respuestas de cada uno de los expertos. La última columna se deja para la respuesta interna de la consultoría a todos los comentarios y cuáles son las acciones correctivas que realizarían. Para que exista conformidad con los cambios, se recomienda compartir la respuesta interna y el listado actualizado de atributos y subatributos.

2 ANEXO B: PMA DE EJEMPLO

En este anexo se entrega un PMA o programa médico arquitectónico que fue elaborado en base a experiencia en proyectos de salud, pero que es de carácter ficticio. El objeto de este PMA es servir como ejemplo en la aplicación de los criterios para filtrar y seleccionar recintos que puedan ser industrializables.

2.1 Programa Médico Arquitectónico

PROGRAMA MÉDICO ARQUITECTÓNICO	
Resumen áreas hospitalarias por servicios	
37 Servicios Hospitalarios	Superficie en m ²
Laboratorio Clínico	452,18
Imagen cardíaca - hemodinámica	192,96
Imagen TC	216
Imagen RMI	197,28
Imagen Medicina Nuclear	280,52
Imagen Ultrasonido	134,28
Imagen Rayos-X	154,08
Patología y Morgue	315,36
Emergencia	714,32
Cuidados básicos	300,4
Cirugía ambulatoria - Endoscopia	460,4
Atención ambulatoria especializada	920,52
Diálisis	381,68
Fisioterapia	217,44
Cirugía	265,44
Sala general de cirugía	547,2
Cuidado progresivo	9066,12
Unidad de Quemados	269,52
Unidad de Cuidados Intensivos Neonatal	600
Unidad intermedia de Cuidados Intensivos	1035,84

Unidad Intensiva de Cuidados Generales	535,2
Unidad Intermedia de Cuidados Generales	906,24
Banco de Sangre	267,6
Lavandería	217,6
Banco de Leche	144,8
Preparación de Leche	99,36
Nutrición y dietética	1062,88
Farmacia	463,44
Esterilización	307,6
Administración	1681,32
Limpieza y Conserjería	161,28
Confort e higiene	2472,3
Área de Recursos Humanos y Capacitación	584,04
Mantenimiento	300
Gestión central de materiales y equipos	337,96
Infraestructura Predial	1625
Superficie Total	28423,36

Servicio	Espacio	Mínimo	M ² Total Estimado	Dimensiones Mínimas
Laboratorio Clínico	Sala de espera para pacientes	51,84 m ²	51,84	7,2 x 7,2 m
Laboratorio Clínico	Registros de pacientes	17,28 m ²	17,28	3,6 x 4,8 m
Laboratorio Clínico	Baños pacientes femeninos y masculinos (2)	5,76 m ²	11,52	2,4 x 2,4 m
Laboratorio Clínico	Secretaría	36,0 m ²	36	6,0 x 6,0 m
Laboratorio Clínico	Entrega de Resultados	36,0 m ²	36	6,0 x 6,0 m
Laboratorio Clínico	Toma de muestra (10)	3,24 m ²	32,4	1,8 x 1,8 m
Laboratorio Clínico	Sala de muestras (2)	5,76 m ²	11,52	2,4 x 2,4 m
Laboratorio Clínico	Clasificación de muestras	19,44 m ²	19,44	2,4 x 7,2 m
Laboratorio Clínico	Preparación de la muestra	23,04 m ²	23,04	4,8 x 4,8 m

Laboratorio Clínico	Laboratorio de hematología	17,28 m ²	17,28	3,6 x 4,8 m
Laboratorio Clínico	Laboratorio de orina	12,96 m ²	12,96	3,6 x 3,6 m
Laboratorio Clínico	Laboratorio de inmunología	12,96 m ²	12,96	3,6 x 3,6 m
Laboratorio Clínico	Laboratorio de microbiología y bacteriología	17,28 m ²	17,28	3,6 x 4,8 m
Laboratorio Clínico	Laboratorio de microbiología	12,96 m ²	12,96	3,6 x 3,6 m
Laboratorio Clínico	Laboratorio de virología	12,96 m ²	12,96	3,6 x 3,6 m
Laboratorio Clínico	Laboratorio de bioquímica	17,28 m ²	17,28	3,6 x 4,8 m
Laboratorio Clínico	Laboratorio de electroforesis	12,96 m ²	12,98	3,6 x 3,6 m
Laboratorio Clínico	Jefe	12,96 m ²	12,96	3,6 x 3,6 m
Laboratorio Clínico	Guardia	17,28 m ²	17,28	3,6 x 4,8 m
Laboratorio Clínico	Sala de personal	21,60 m ²	21,6	3,6 x 6,0 m
Laboratorio Clínico	Equipos y materiales para bodegas	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Laboratorio Clínico	Tienda de equipos de limpieza	2,88 m ²	2,88	2,4 x 1,2 m
Laboratorio Clínico	Cámara de esterilización	12,96 m ²	12,96	3,6 x 3,6 m
Laboratorio Clínico	Baños del personal femenino y masculino (4)	5,76 m ²	23,04	2,4 x 2,4 m
	TOTAL		452,18	
Servicio	Espacio	Mínimo	M² Total Estimado	Dimensiones Mínimas
Imagen cardíaca - hemodinámica	Sala de espera	17,28 m ²	17,28	3,6 x 4,8 m
Imagen cardíaca - hemodinámica	Sala de espera	23,04 m ²	23,04	4,8 x 4,8 m
Imagen cardíaca - hemodinámica	Secretaria	12,96 m ²	12,96	3,6 x 3,6 m
Imagen cardíaca - hemodinámica	Cuidados indiferenciados	8,64 m ²	8,64	2,4 x 3,6 m
Imagen cardíaca - hemodinámica	Expediente	23,04 m ²	23,04	4,8 x 4,8 m
Imagen cardíaca - hemodinámica	Vestidor masculino	23,04 m ²	23,04	4,8 x 4,8 m
Imagen cardíaca - hemodinámica	Vestidor femenino	12,96 m ²	12,96	3,6 x 3,6 m

Imagen cardíaca - hemodinámica	Transferencia	TBD		TBD
Imagen cardíaca - hemodinámica	Equipos y materiales	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Imagen cardíaca - hemodinámica	Informes	8,64 m ²	8,64	2,4 x 3,6 m
Imagen cardíaca - hemodinámica	Revelado	23,04 m ²	23,04	4,8 x 4,8 m
Imagen cardíaca - hemodinámica	Cuarto de examen	8,64 m ²	8,64	2,4 x 3,6 m
Imagen cardíaca - hemodinámica	Sala de control	17,28 m ²	17,28	3,6 x 4,8 m
Imagen cardíaca - hemodinámica	Recuperación por inducción	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Imagen cardíaca - hemodinámica	Estación de enfermería	2,88 m ²	2,88	1,2 x 1,2 m
	TOTAL		192,96	
Servicio	Espacio	Mínimo	M² Total Estimado	Dimensiones Mínimas
Imagen TC	Sala de espera	17,28 m ²	17,28	3,6 x 4,8 m
Imagen TC	Secretaria	23,04 m ²	23,04	4,8 x 4,8 m
Imagen TC	Inducción	17,28 m ²	17,28	3,6 x 4,8 m
Imagen TC	Sala de examen (2)	43,20 m ²	86,4	6,0 x 7,2 m
Imagen TC	Componentes técnicos (2)	1,44 m ²	2,88	1,2 x 1,2 m
Imagen TC	Comando (2)	5,76 m ²	11,52	2,4 x 2,4 m
Imagen TC	Estación de enfermería	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Imagen TC	Vestidor (2)	5,76 m ²	11,52	2,4 x 2,4 m
Imagen TC	Informes	17,28 m ²	17,28	3,6 x 4,8 m
Imagen TC	Baños (4)	5,76 m ²	23,04	2,4 x 2,4 m
	TOTAL		216	
Servicio	Espacio	Mínimo	M² Total Estimado	Dimensiones Mínimas
Imagen RMI	Sala de espera	17,28 m ²	17,28	3,6 x 4,8 m
Imagen RMI	Detector de metales	TBD		TBD
Imagen RMI	Sala de examen (2)	43,20 m ²	86,4	6,0 x 7,2 m
Imagen RMI	Sala de control (2)	5,76 m ²	11,52	2,4 x 2,4 m

Imagen RMI	Inducción	17,28 m ²	17,28	3,6 x 4,8 m
Imagen RMI	Emergencia	12,96 m ²	12,96	3,6 x 3,6 m
Imagen RMI	Estación de enfermería	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Imagen RMI	Informes	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Imagen RMI	Componentes técnicos (2)	1,44 m ²	2,88	1,2 x 1,2 m
Imagen RMI	Exámenes oftalmológicos	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Imagen RMI	Vestidor	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Imagen RMI	Sala de médicos	17,28 m ²	17,28	3,6 x 4,8 m
Imagen RMI	Equipos de limpieza	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Imagen RMI	Revelado	TBD		TBD
Imagen RMI	Baño	2,88 m ²	2,88	1,2 x 1,2 m
	TOTAL		197,28	
Servicio	Espacio	Mínimo	M² Total Estimado	Dimensiones Mínimas
Imagen Medicina Nuclear	Sala de espera	36,0 m ²	36	6,0 x 6,0 m
Imagen Medicina Nuclear	Baños femeninos y masculinos	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Imagen Medicina Nuclear	Camillas y espacio para sillas de ruedas	12,96 m ²	12,96	3,6 x 3,6 m
Imagen Medicina Nuclear	Equipos de limpieza	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Imagen Medicina Nuclear	División administrativa	12,96 m ²	12,96	3,6 x 3,6 m
Imagen Medicina Nuclear	Baños de personal	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Imagen Medicina Nuclear	Laboratorio de películas	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Imagen Medicina Nuclear	Caja general	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Imagen Medicina Nuclear	Camillas	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Imagen Medicina Nuclear	Laboratorio de existencias	8,64 m ²	8,64	2,4 x 3,6 m
Imagen Medicina Nuclear	Residuos radiactivos	2,88 m ²	2,88	1,2 x 1,2 m
Imagen Medicina Nuclear	Box de acogida de sangre	3,24 m ²	3,24	1,8 x 1,8 m
Imagen Medicina Nuclear	Laboratorio de radioinmunoensayo	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m

Imagen Medicina Nuclear	Administración de sala de radio-drogas	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Imagen Medicina Nuclear	Caja de pacientes inyectados	3,24 m ²	32,4	1,8 x 1,8 m
Imagen Medicina Nuclear	Cámara Gamma	43,20 m ²	43,28	6,0 x 7,2 m
Imagen Medicina Nuclear	Sala de informes y archivos	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Imagen Medicina Nuclear	Departamento de pacientes inyectados	17,28 m ²	17,28	3,6 x 4,8 m
Imagen Medicina Nuclear	Departamento de residuos	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Imagen Medicina Nuclear	Sala de personal	23,04 m ²	23,04	4,8 x 4,8 m
Imagen Medicina Nuclear	Baños de personal	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Imagen Medicina Nuclear	Secretaria	12,96 m ²	12,96	3,6 x 3,6 m
Imagen Medicina Nuclear	Baño exclusivo para paciente	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Imagen Medicina Nuclear	Ducha de descontaminación	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
	TOTAL		280,52	
Servicio	Espacio	Mínimo	M² Total Estimado	Dimensiones Mínimas
Imagen Ultrasonido	Sala de espera	17,28 m ²	17,28	3,6 x 4,8 m
Imagen Ultrasonido	Recepción	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Imagen Ultrasonido	Secretaria	23,04 m ²	23,04	4,8 x 4,8 m
Imagen Ultrasonido	Sala de ultrasonidos (5)	9,0 m ²	45	3,0 x 3,0 m
Imagen Ultrasonido	Vestidor (Baño) (2)	2,88 m ² per unit	5,76	1,2 x 2,4 m
Imagen Ultrasonido	Informes	17,28 m ²	17,28	3,6 x 4,8 m
Imagen Ultrasonido	Servicios	8,64 m ²	8,64	2,4 x 3,6 m
Imagen Ultrasonido	Baño Masculino (2)	2,88 m ²	5,76	1,2 x 2,4 m
Imagen Ultrasonido	Baño Femenino (2)	2,88 m ²	5,76	1,2 x 2,4 m
	TOTAL		134,28	
Servicio	Espacio	Mínimo	M² Total Estimado	Dimensiones Mínimas

Imagen Rayos-X	Sala de espera	17,28 m ²	17,28	3,6 x 4,8 m
Imagen Rayos-X	Recepción	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Imagen Rayos-X	Baño masculino	2,88 m ²	2,88	1,2 x 2,4 m
Imagen Rayos-X	Baño femenino	2,88 m ²	2,88	1,2 x 2,4 m
Imagen Rayos-X	Sala de examen 1 - Rayos X	23,04 m ²	23,04	4,8 x 4,8 m
Imagen Rayos-X	Sala de examen 2 - Rayos X	23,04 m ²	23,04	4,8 x 4,8 m
Imagen Rayos-X	Sala de examen 2 - Rayos X	23,04 m ²	23,04	4,8 x 4,8 m
Imagen Rayos-X	Examen sala 3 - Mamografía	12,96 m ²	12,96	3,6 x 3,6 m
Imagen Rayos-X	Sala de comandos (2)	5,76 m ²	11,52	2,4 x 2,4 m
Imagen Rayos-X	Vestidor (Baño) (2)	2,88 m ² per unit	5,76	1,2 x 2,4 m
Imagen Rayos-X	Informes	17,28 m ²	17,28	3,6 x 4,8 m
Imagen Rayos-X	Servicios	8,64 m ²	8,64	2,4 x 3,6 m
	TOTAL		154,08	
Servicio	Espacio	Mínimo	M² Total Estimado	Dimensiones Mínimas
Patología y Morgue	División administrativa	17,28 m ²	17,28	3,6 x 4,8 m
Patología y Morgue	Secretaria	17,28 m ²	17,28	3,6 x 4,8 m
Patología y Morgue	Zona de cadáveres	12,96 m ²	12,96	3,6 x 3,6 m
Patología y Morgue	Sala de autopsias	23,04 m ²	23,04	4,8 x 4,8 m
Patología y Morgue	Sala de biopsia	2,88 m ²	2,88	1,2 x 2,4 m
Patología y Morgue	Sala de preparación de piezas	12,96 m ²	12,96	3,6 x 3,6 m
Patología y Morgue	Laboratorio de histopatología	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Patología y Morgue	Laboratorio de citopatología	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Patología y Morgue	Sala de microscopio	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Patología y Morgue	Baños y vestuarios	5,76 m ²	11,52	2,4 x 2,4 m
Patología y Morgue	Baños y vestuarios	5,76 m ²	11,52	2,4 x 2,4 m
Patología y Morgue	Equipos de limpieza	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m

Patología y Morgue	Bodega	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Patología y Morgue	Entregas	17,28 m ²	17,28	3,6 x 4,8 m
Patología y Morgue	Baños masculinos y femeninos	5,76 m ²	11,52	2,4 x 2,4 m
Patología y Morgue	Salón general	51,84 m ²	51,84	7,2 x 7,2 m
Patología y Morgue	Baños masculinos y femeninos	5,76 m ²	11,52	2,4 x 2,4 m
Patología y Morgue	Sala de espera para las familias	36,0 m ²	36	6,0 x 6,0 m
Patología y Morgue	Plataforma cubierta (coche funerario)	43,20 m ²	43,2	6,0 x 7,2 m
Patología y Morgue	Información	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
	TOTAL		315,36	
Servicio	Espacio	Mínimo	M² Total Estimado	Dimensiones Mínimas
Emergencia	Recepción general	36,0 m ²	36	6,0 x 6,0 m
Emergencia	Registro	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Emergencia	Guardia (Carabineros)	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Emergencia	Servicio social	8,64 m ²	8,64	2,4 x 3,6 m
Emergencia	Estacionamiento para camillas y sillas de ruedas	12,96 m ²	12,96	3,6 x 3,6 m
Emergencia	Baños públicos adulto masculino y femenino (2)	12,96 m ²	25,92	3,6 x 3,6 m
Emergencia	Baños públicos y mujeres niños (2)	12,96 m ²	25,92	3,6 x 3,6 m
Emergencia	Higiene	12,96 m ²	12,96	3,6 x 3,6 m
Emergencia	Triaje	17,28 m ²	17,28	3,6 x 4,8 m
Emergencia	Hidratación y rehidratación	70 m ²	70	---
Emergencia	Inhalación de nebulizador	2,0 m ²	40	---
Emergencia	Atención de mujeres adultas	17,28 m ²	17,28	3,6 x 4,8 m
Emergencia	Cuidado pediátrico	17,28 m ²	17,28	3,6 x 4,8 m

Emergencia	Emergencia cardiaca (1)	17,28 m ²	17,28	3,6 x 4,8 m
Emergencia	Cuarto auxiliar	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Emergencia	Estación de enfermería	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Emergencia	Aislado (4)	17,28 m ²	69,12	3,6 x 4,8 m
Emergencia	Observaciones mujer adulta	21,60 m ²	21,6	3,6 x 6,0 m
Emergencia	Observación pediátrica	21,60 m ²	21,6	3,6 x 6,0 m
Emergencia	Procedimientos especiales (1)	21,60 m ²	21,6	3,6 x 6,0 m
Emergencia	Sala de trauma	21,60 m ²	21,6	3,6 x 6,0 m
Emergencia	Vigilantes	17,28 m ²	17,28	3,6 x 4,8 m
Emergencia	Sala de personal	17,28 m ²	17,28	3,6 x 4,8 m
Emergencia	Pabellón de Cirugía Menor	23,04 m ²	23,04	4,8 x 4,8 m
Emergencia	Urinario	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Emergencia	Vestidor femenino y masculino	5,76 m ²	11,52	2,4 x 2,4 m
Emergencia	Trauma (2 camas)	17,28 m ²	17,28	3,6 x 4,8 m
Emergencia	Sala de yeso (2 camas)	12,96 m ²	12,96	3,6 x 3,6 m
Emergencia	Rayos X Portátiles	12,96 m ²	12,96	2,4 x 2,4 m
Emergencia	Limpieza de la habitación	2,88 m ²	2,88	1,2 x 2,4 m
Emergencia	Baños masculinos y femeninos (2)	5,76 m ²	11,52	2,4 x 2,4 m
Emergencia	Bodega	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Emergencia	Estación de enfermería	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Emergencia	Sala de espera para pacientes e invitados	36 m ²	36	---
Emergencia	Baños para pacientes que esperan (3)	5,76 m ²	17,28	2,4 x 2,4 m
Emergencia	Box cuidado indiferenciado (1)	12,96 m ²	12,96	3,6 x 3,6 m
Emergencia	Estacionamiento de Ambulancia (4)	6 m ²	24	
		TOTAL	714,32	

Servicio	Espacio	Mínimo	M ² Total Estimado	Dimensiones Mínimas
Cuidados básicos	Habitación para registro de pacientes	30 m ²	30	---
Cuidados básicos	Sala de espera para paciente acompañante	51,84 m ²	51,84	7,2 x 7,2 m
Cuidados básicos	Baños públicos para hombres y mujeres (3)	5,76 m ²	17,28	2,4 x 2,4 m
Cuidados básicos	Baños para personal masculino y femenino (3)	5,76 m ²	17,28	2,4 x 2,4 m
Cuidados básicos	Sala de atención individualizada	8,64 m ²	8,64	2,4 x 3,6 m
Cuidados básicos	Sala de capacitación (24 personas)	24 m ²	24	4,0 x 6,0 m
Cuidados básicos	Sala de inmunizaciones	8,64 m ²	8,64	2,4 x 3,6 m
Cuidados básicos	Bodega y distribución de alimentos	100 m ²	100	25 x 4 m
Cuidados básicos	Auditorio (24 personas)	24 m ²	24	10 x 10 m
Cuidados básicos	División administrativa	12,96 m ²	12,96	3,6 x 3,6 m
Cuidados básicos	Bodega de útiles y artículos de aseo	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
TOTAL			300,4	
Servicio	Espacio	Mínimo	M ² Total Estimado	Dimensiones Mínimas
Cirugía ambulatoria - Endoscopia	Recepción y preparación de pacientes	Surface for the stretcher	5,76	2,4 x 2,4 m
Cirugía ambulatoria - Endoscopia	Cuarto de lavado	1,0 m ² per lavabo	2	
Cirugía ambulatoria - Endoscopia	Preparación de anestésicos	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Cirugía ambulatoria - Endoscopia	Inducción anestésica	3 bed minimum	64,8	3,6 x 6,0 m
Cirugía ambulatoria - Endoscopia	Sala de cirugía y endoscopia	23,04 m ²	92,16	4,8 x 4,8 m

Cirugía ambulatoria - Endoscopia	Cirugía de cámara intermedia	23,04 m ²	92,16	4,8 x 4,8 m
Cirugía ambulatoria - Endoscopia	Recuperación postanestésica	3 bed minimum	64,8	3,6 x 6,0 m
Cirugía ambulatoria - Endoscopia	Departamento de observación individual	12,96 m ²	12,96	3,6 x 3,6 m
Cirugía ambulatoria - Endoscopia	Departamento de dos camas	8,64 m ²	8,64	2,4 x 3,6 m
Cirugía ambulatoria - Endoscopia	Enfermería de 3 y 5 camas	7,20 m ² per bed	21,6	3,6 x 6,0 m
Cirugía ambulatoria - Endoscopia	Estación de enfermería	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Cirugía ambulatoria - Endoscopia	Limpieza	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Cirugía ambulatoria - Endoscopia	Ropa limpia, ropa sucia	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Cirugía ambulatoria - Endoscopia	Vestidor femenino y masculino con separación	12,96 m ²	12,96	3,6 x 3,6 m
Cirugía ambulatoria - Endoscopia	Bodega de equipos	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Cirugía ambulatoria - Endoscopia	Equipo de preparación	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Cirugía ambulatoria - Endoscopia	Sala de estar del paciente y acompañante	2,4 m ² per people	24	---
Cirugía ambulatoria - Endoscopia	Sala de personal	2,4 m ² per people	24	---
	TOTAL		460,4	
Servicio	Espacio	Mínimo	M² Total Estimado	Dimensiones Mínimas
Atención ambulatoria especializada	Sala de espera general	160 m ²	160	---
Atención ambulatoria especializada	Registro general	9,0 m ²	9	1,2 x 1,25 m
Atención ambulatoria especializada	Sala propósito general	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Atención ambulatoria especializada	Control de ingresos del personal	20 m ²	20	5,0 x 4,0 m
Atención ambulatoria especializada	Baños para pacientes masculinos y femeninos (3)	5,76 m ²	17,28	2,4 x 2,4 m
Atención ambulatoria especializada	Box de cuidados indiferenciados	8,64 m ²	43,2	2,4 x 3,6 m

Atención ambulatoria especializada	Box de cuidados indiferenciados	8,64 m ²	43,2	2,4 x 3,6 m
Atención ambulatoria especializada	Caja de servicio social	8,64 m ²	172,8	2,4 x 3,6 m
Atención ambulatoria especializada	Box de cuidado	12,96 m ²	129,6	3,6 x 3,6 m
Atención ambulatoria especializada	Cámara para la aplicación de medicamentos	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Atención ambulatoria especializada	Administración	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Atención ambulatoria especializada	Habitación de entrenamiento	12,96 m ²	25,92	3,6 x 3,6 m
Atención ambulatoria especializada	Enfermería	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Atención ambulatoria especializada	Prescripción	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Atención ambulatoria especializada	Ropa limpia, ropa sucia	2,88 m ²	17,28	1,2 x 1,2 m
Atención ambulatoria especializada	Bodega útiles	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Atención ambulatoria especializada	Sala clínica	12,96 m ²	25,92	3,6 x 3,6 m
Atención ambulatoria especializada	Farmacia	12,96 m ²	25,92	3,6 x 3,6 m
Atención ambulatoria especializada	Estacionamiento para camillas y sillas de ruedas	12,96 m ²	12,96	3,6 x 3,6 m
Atención ambulatoria especializada	Guardia (Carabineros)	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Atención ambulatoria especializada	Baños para personal masculino y femenino (2)	5,76 m ²	11,52	2,4 x 2,4 m
Atención ambulatoria especializada	Sala de espera para pacientes e invitados	36,0 m ²	36	6,0 x 6,0 m
Atención ambulatoria especializada	Recepción y registro de pacientes	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Atención ambulatoria especializada	Baños de pacientes e invitados	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Atención ambulatoria especializada	Baño del paciente	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Atención ambulatoria especializada	Vestidor de pacientes	12,96 m ²	12,96	3,6 x 3,6 m
Atención ambulatoria especializada	Baños de personal	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Atención ambulatoria especializada	Cabina audiométrica	2,88 m ²	2,88	1,2 x 1,2 m
Atención ambulatoria especializada	Sala de Oto-neurología	11,52 m ²	11,52	2,4 x 4,8 m
Atención ambulatoria especializada	Sala de potenciales evocados	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m

Atención ambulatoria especializada	Sala de electroencefalografía	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Atención ambulatoria especializada	Sala de electromiografía	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Atención ambulatoria especializada	Sala de flujo vascular continuo	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Atención ambulatoria especializada	Sala electrocardiografía	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Atención ambulatoria especializada	Sala electrocardiográfica continua	8,64 m ²	8,64	2,4 x 3,6 m
Atención ambulatoria especializada	Ergonomía de la habitación	8,64 m ²	8,64	2,4 x 3,6 m
Atención ambulatoria especializada	Sala de cardiología	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Atención ambulatoria especializada	Sala de funciones pulmonares	4,32 m ²	4,32	1,2 x 3,6 m
Atención ambulatoria especializada	Habitación para dormir / estudio	4,32 m ²	4,32	1,2 x 3,6 m
Atención ambulatoria especializada	Sala de comandos	4,32 m ²	4,32	1,2 x 3,6 m
Atención ambulatoria especializada	Sala de interpretación de informes	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Atención ambulatoria especializada	Bodega	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Atención ambulatoria especializada	Bodega de equipos de limpieza	2,88 m ²	2,88	1,2 x 1,2 m
	TOTAL		920,52	
Servicio	Espacio	Mínimo	M² Total Estimado	Dimensiones Mínimas
Diálisis	Sala de espera y registro	43,20 m ²	43,2	6,0 x 7,2 m
Diálisis	Baños pacientes femeninos y masculinos	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Diálisis	División administrativa	17,28 m ²	17,28	3,6 x 4,8 m
Diálisis	Box cuidados indiferenciados	8,64 m ²	8,64	2,4 x 3,6 m
Diálisis	Estación de enfermería y prescripción	11,52 m ²	11,52	2,4 x 4,8 m
Diálisis	Cámara CAPD	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m

Diálisis	Sala de DPI	8.5 m2 per bed, room 2 beds	85	6.5 m2 per bed for more than 2 beds
Diálisis	Sala de tratamiento de hemodiálisis	5.0 m2 per chair or bed	50	
Diálisis	Sala de tratamiento de hemodiálisis	40 m ²	40	8,0 x 5,0 m
Diálisis	Sala de tratamiento de hemodiálisis	40 m ²	40	8,0 x 5,0 m
Diálisis	Sala de tratamiento de hemodiálisis PAC.HBSAg +	8,64 m ²	8,64	2,4 x 3,6 m
Diálisis	Estación de enfermería	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Diálisis	Reprocesamiento de dializadores	3,24 m ²	3,24	1,8 x 1,8 m
Diálisis	Reprocesamiento de dializadores	3,24 m ²	3,24	1,8 x 1,8 m
Diálisis	Reprocesamiento de dializadores	3,24 m ²	3,24	1,8 x 1,8 m
Diálisis	Utilidades	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Diálisis	Bodega de equipos de limpieza	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Diálisis	Personal de bodega	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Diálisis	Bodega	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Diálisis	Camilla y zona para silla de ruedas	---		
Diálisis	Pacientes de la sala de recuperación	21,60 m ²	21,6	3,6 x 6,0 m
Diálisis	Área de almacenamiento de agua	TBD		TBD
Diálisis	Baños de personal	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Diálisis	Residuos	---		---
Diálisis	Lavandería	---		---
	TOTAL		381,68	

Servicio	Espacio	Mínimo	M ² Total Estimado	Dimensiones Mínimas
Fisioterapia	Sala de espera para pacientes e invitados	23,04 m ²	23,04	4,8 x 4,8 m
Fisioterapia	Box de terapia	2,88 m ²	2,88	1,2 x 1,2 m
Fisioterapia	Sala de ejercicios	TBD		TBD
Fisioterapia	Piscina	TBD		TBD
Fisioterapia	Kinesiología de salas / mecanoterapia	TBD		TBD
Fisioterapia	Grupo de terapia ocupacional	2,2 m ² per patient	23,04	4,8 x 4,8 m
Fisioterapia	Terapia ocupacional individual	8,64 m ²	8,64	2,4 x 3,6 m
Fisioterapia	Habla	8,64 m ²	8,64	2,4 x 3,6 m
Fisioterapia	Cuarto psicométrico	3,0 m ² per patient	23,04	4,8 x 4,8 m
Fisioterapia	Registros de pacientes	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Fisioterapia	Baño con vestidor para pacientes	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Fisioterapia	Bodega	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Fisioterapia	Ropería	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Fisioterapia	Tienda de equipos de limpieza.	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Fisioterapia	Bodega de equipos	23,04 m ²	23,04	4,8 x 4,8 m
Fisioterapia	Secretaria	23,04 m ²	23,04	4,8 x 4,8 m
Fisioterapia	Baño para pacientes en espera	2,88 m ²	2,88	1,2 x 1,2 m
Fisioterapia	Zona para camilla y silla de ruedas	12,96 m ²	12,96	3,6 x 3,6 m
Fisioterapia	Box de cuidados indiferenciados	8,64 m ²	8,64	2,4 x 3,6 m
Fisioterapia	Sala de personal	28,80 m ²	28,8	4,8 x 6,0 m

	TOTAL		217,44	
Servicio	Espacio	Mínimo	M ² Total Estimado	Dimensiones Mínimas
Cirugía	Espera general cuidado de la madre	51,84 m ²	51,84	7,2 x 7,2 m
Cirugía	Madres receptoras	8,64 m ²	8,64	2,4 x 3,6 m
Cirugía	Cuarto limpio	8,64 m ²	8,64	2,4 x 3,6 m
Cirugía	Pre-Entrega (3)	12,96 m ²	38,88	3,6 x 3,6 m
Cirugía	Bodega de anestesia	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Cirugía	Desechos	1,2 m ²	2,4	1,2 x waste dump
Cirugía	Sala de partos	17,28 m ²	51,84	3,6 x 4,8 m
Cirugía	Asistencia neonatal	80 cm ² x delivery room	2,4	---
Cirugía	Área de prescripción	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Cirugía	Estación de enfermería	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Cirugía	Bodega	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Cirugía	Baño con vestidor para personal	23,04 m ²	23,04	4,8 x 4,8 m
Cirugía	Bodega de equipos de limpieza	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Cirugía	Equipamiento y sala de preparación de materiales	12,96 m ²	12,96	3,6 x 3,6 m
Cirugía	Bodega de equipos y materiales	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Cirugía	Consejo de Administración (secretaría)	12,96 m ²	12,96	3,6 x 3,6 m
Cirugía	Baños (2)	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Cirugía	Baños (2)	2,88 m ²	5,76	1,2 x 1,2 m
Cirugía	Sala de médicos y personal	23,04 m ²	23,04	4,8 x 4,8 m
Cirugía	Estacionamiento para camillas y sillas de ruedas	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m

	TOTAL		265,44	
Servicio	Espacio	Mínimo	M ² Total Estimado	Dimensiones Mínimas
Sala general de cirugía	Recepción y traslado	12,96 m ²	12,96	3,6 x 3,6 m
Sala general de cirugía	Bodega y preparación de anestesia	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Sala general de cirugía	Estación de enfermería	12,96 m ²	5,76	3,6 x 3,6 m
Sala general de cirugía	Inducción anestésica	17,28 m ²	17,28	3,6 x 4,8 m
Sala general de cirugía	Lavabo	1,2 m ²	28,8	1,2 m x hand washers
Sala general de cirugía	Cirugía obstetricia	23,04 m ²	69,12	4,8 x 4,8 m
Sala general de cirugía	Tratamiento recién nacido	5,76 m ²	17,28	2,4 x 2,4 m
Sala general de cirugía	Cirugía General	28,80 m ²	216	6,0 x 6,0 m
Sala general de cirugía	Estación de enfermería	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Sala general de cirugía	Sala de prescripción	8,64 m ²	8,64	2,4 x 3,6 m
Sala general de cirugía	Bodega	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Sala general de cirugía	Baños y vestuarios para médicos y personal	23,04 m ²	23,04	4,8 x 4,8 m
Sala general de cirugía	Consejo de Administración (secretaria)	12,96 m ²	12,96	3,6 x 3,6 m
Sala general de cirugía	Equipamiento y sala de preparación de materiales	12,96 m ²	12,96	3,6 x 3,6 m
Sala general de cirugía	Bodega de equipos de limpieza	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Sala general de cirugía	Sala de espera para invitados	51,84 m ²	51,84	7,2 x 7,2 m
Sala general de cirugía	Baños y vestuarios para invitados (4)	2,88 m ²	11,52	1,2 x 2,4 m
Sala general de cirugía	Sala de médicos y personal	23,04 m ²	23,04	4,8 x 4,8 m
Sala general de cirugía	Residuos	12,96 m ²	12,96	3,6 x 3,6 m
	TOTAL		547,2	

Servicio	Espacio	Mínimo	M ² Total Estimado	Dimensiones Mínimas
Cuidado progresivo	Sala de acompañantes para pacientes (36 asientos)	36,0 m ²	36	6,0 x 6,0 m
Cuidado progresivo	Habitación - 1 cama de niño	12,96 m ²	259,2	3,6 x 3,6 m
Cuidado progresivo	Habitación - 6 camas infantil	43,20 m ²	3888	6,0 x 7,2 m
Cuidado progresivo	Habitación - 1 cama mujer adulta	12,96 m ²	388,8	3,6 x 3,6 m
Cuidado progresivo	Habitación - 6 camas mujer adulta	43,20 m ²	2592	6,0 x 7,2 m
Cuidado progresivo	Habitación - 1 cama de maternidad	4,5 m ² per bed	135	6,0 x 7,2 m
Cuidado progresivo	Recién nacidos	5,0 m ² x crib	150	6,0 x 7,2 m
Cuidado progresivo	Puesto de enfermería (9)	5,76 m ²	51,84	2,4 x 2,4 m
Cuidado progresivo	Sala de servicios (9)	8,64 m ²	77,76	2,4 x 3,6 m
Cuidado progresivo	Sala de recetas (9)	8,64 m ²	77,76	2,4 x 3,6 m
Cuidado progresivo	Sala de curación (9)	21,60 m ²	194,4	3,6 x 6,0 m
Cuidado progresivo	Bodega	8,64 m ²	8,64	2,4 x 3,6 m
Cuidado progresivo	Limpieza de la habitación	8,64 m ²	8,64	2,4 x 3,6 m
Cuidado progresivo	Ropería	8,64 m ²	8,64	2,4 x 3,6 m
Cuidado progresivo	Habitación - 1 cama infantil, aislada	12,96 m ²	142,56	3,6 x 3,6 m
Cuidado progresivo	Habitación - 1 cama hembra adulta, aislada	12,96 m ²	116,64	3,6 x 3,6 m
Cuidado progresivo	Habitación - 1 cama de maternidad aislada	12,96 m ²	38,88	6,0 x 7,2 m
Cuidado progresivo	Habitación recién nacidos aislados	12,96 m ²	38,88	6,0 x 7,2 m
Cuidado progresivo	Salón de invitados para acompañantes (36 asientos)	36,0 m ²	36	6,0 x 6,0 m
Cuidado progresivo	Cuarto de baño	5,76 m ²	576	2,4 x 2,4 m
Cuidado progresivo	Baño de enfermería (1 por puesto de enfermería)	5,76 m ²	51,84	2,4 x 2,4 m

Cuidado progresivo	Repostero	36,0 m ²	36	6,0 x 6,0 m
Cuidado progresivo	Sala de servicios	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Cuidado progresivo	Prescripción	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Cuidado progresivo	Guardia	17,28 m ²	17,28	3,6 x 4,8 m
Cuidado progresivo	Baños masculinos y femeninos (2)	5,76 m ²	11,52	2,4 x 2,4 m
Cuidado progresivo	Higiene del recién nacido	17,28 m ²	51,84	3,6 x 4,8 m
Cuidado progresivo	Bodega de equipos	8,64 m ²	8,64	2,4 x 3,6 m
Cuidado progresivo	Vestidores residentes	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Cuidado progresivo	Sala de extracción de leche	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Cuidado progresivo	Bodegas de carros	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Cuidado progresivo	Residentes	34,56 m ²	34,56	3,6 x 9,6 m
	TOTAL		9066,12	
Servicio	Espacio	Mínimo	M² Total Estimado	Dimensiones Mínimas
Unidad de Quemados	Sala de estar para visitas	36,0 m ²	36	6,0 x 6,0 m
Unidad de Quemados	Baños de visitas masculinos y femeninos	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Unidad de Quemados	Zona para camilla y silla de ruedas	12,96 m ²	12,96	3,6 x 3,6 m
Unidad de Quemados	Estación de enfermería	12,96 m ²	12,96	3,6 x 3,6 m
Unidad de Quemados	Sala de servicios	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Unidad de Quemados	Prescripción	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Unidad de Quemados	Enfermería para adultos	7.00 m ² per bed / 2 beds	14	---
Unidad de Quemados	Enfermería de adolescentes	7.00 m ² per bed / 2 beds	14	---
Unidad de Quemados	Enfermería pediátrica	7.00 m ² per bed / 2 beds	14	---

Unidad de Quemados	Departamento aislado	17,28 m ²	17,28	3,6 x 4,8 m
Unidad de Quemados	Cuarto de baños (spa)	12,96 m ²	25,92	3,6 x 3,6 m
Unidad de Quemados	Banco de piel	2,88 m ²	2,88	1,2 x 1,2 m
Unidad de Quemados	Kinesiología	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Unidad de Quemados	Habitación semiprivado	17,28 m ²	17,28	3,6 x 4,8 m
Unidad de Quemados	Unidad de limpieza	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Unidad de Quemados	Vestidor femenino y masculino	12,96 m ²	12,96	3,6 x 3,6 m
Unidad de Quemados	Habitación	17,28 m ²	17,28	3,6 x 4,8 m
Unidad de Quemados	Ropería	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Unidad de Quemados	Equipo de bodega	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Unidad de Quemados	Vestidor (baño) para el personal	12,96 m ²	12,96	3,6 x 3,6 m
Unidad de Quemados	Baño del paciente	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Unidad de Quemados	Administración	12,96 m ²	12,96	3,6 x 3,6 m
	TOTAL		269,52	
Servicio	Espacio	Mínimo	M² Total Estimado	Dimensiones Mínimas
Unidad de Cuidados Intensivos Neonatal	Sala de espera familias	51,84 m ²	51,84	---
Unidad de Cuidados Intensivos Neonatal	Secretaría	12,96 m ²	12,96	3,6 x 3,6 m
Unidad de Cuidados Intensivos Neonatal	Puesto de enfermería (5)	12,96 m ²	64,8	3,6 x 3,6 m
Unidad de Cuidados Intensivos Neonatal	Prescripción	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Unidad de Cuidados Intensivos Neonatal	Sala de servicios	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Unidad de Cuidados Intensivos Neonatal	Sala de neonatología	12,96 m ²	64,8	3,6 x 3,6 m
Unidad de Cuidados Intensivos Neonatal	Habitación aislada (4)	12,96 m ²	51,84	3,6 x 3,6 m
Unidad de Cuidados Intensivos Neonatal	Área común de Neonatología	60 m ²	60	---
Unidad de Cuidados Intensivos Neonatal	Habitación mujer adulta	12,96 m ²	129,6	3,6 x 3,6 m
Unidad de Cuidados Intensivos Neonatal	Cuarto pediátrico	12,96 m ²	129,6	3,6 x 3,6 m

Unidad de Cuidados Intensivos Neonatal	Baños masculinos y femeninos (2)	5,76 m ²	11,52	2,4 x 2,4 m
Unidad de Cuidados Intensivos Neonatal	Baño de hombres, mujeres y niños (2)	5,76 m ²	11,52	2,4 x 2,4 m
	TOTAL		600	
Servicio	Espacio	Mínimo	M² Total Estimado	Dimensiones Mínimas
Unidad intermedia de Cuidados Intensivos	Sala de espera familias	51,84 m ²	51,84	---
Unidad intermedia de Cuidados Intensivos	Secretaria	12,96 m ²	12,96	3,6 x 3,6 m
Unidad intermedia de Cuidados Intensivos	Puesto de enfermería (5)	12,96 m ²	64,8	3,6 x 3,6 m
Unidad intermedia de Cuidados Intensivos	Prescripción	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Unidad intermedia de Cuidados Intensivos	Sala de servicios	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Unidad intermedia de Cuidados Intensivos	Sala de neonatología	12,96 m ²	129,6	3,6 x 3,6 m
Unidad intermedia de Cuidados Intensivos	Habitación aislada (8)	12,96 m ²	103,68	3,6 x 3,6 m
Unidad intermedia de Cuidados Intensivos	Neonatología del área común	60 m ²	120	---
Unidad intermedia de Cuidados Intensivos	Habitación adulto mujer	12,96 m ²	259,2	3,6 x 3,6 m
Unidad intermedia de Cuidados Intensivos	Cuarto pediátrico	12,96 m ²	259,2	3,6 x 3,6 m
Unidad intermedia de Cuidados Intensivos	Sanitarios masculinos y femeninos (2)	5,76 m ²	11,52	2,4 x 2,4 m
Unidad intermedia de Cuidados Intensivos	Baño de hombres, mujeres y niños (2)	5,76 m ²	11,52	2,4 x 2,4 m
	TOTAL		1035,84	
Servicio	Espacio	Mínimo	M² Total Estimado	Dimensiones Mínimas
Unidad Intensiva de Cuidados Generales	Sala de espera familias	51,84 m ²	51,84	---
Unidad Intensiva de Cuidados Generales	Secretaria	12,96 m ²	12,96	3,6 x 3,6 m
Unidad Intensiva de Cuidados Generales	Puesto de enfermería (5)	12,96 m ²	64,8	3,6 x 3,6 m
Unidad Intensiva de Cuidados Generales	Prescripción	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Unidad Intensiva de Cuidados Generales	Sala de servicios	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m

Unidad Intensiva de Cuidados Generales	Habitación aislada (4)	12,96 m ²	51,84	3,6 x 3,6 m
Unidad Intensiva de Cuidados Generales	Área común (10 camas)	60 m ²	60	---
Unidad Intensiva de Cuidados Generales	Habitación adulto hembra	12,96 m ²	129,6	3,6 x 3,6 m
Unidad Intensiva de Cuidados Generales	Cuarto pediátrico	12,96 m ²	129,6	3,6 x 3,6 m
Unidad Intensiva de Cuidados Generales	Baños masculinos y femeninos (2)	5,76 m ²	11,52	2,4 x 2,4 m
Unidad Intensiva de Cuidados Generales	Baño de hombres, mujeres y niños(2)	5,76 m ²	11,52	2,4 x 2,4 m
	TOTAL		535,2	
Servicio	Espacio	Mínimo	M² Total Estimado	Dimensiones Mínimas
Unidad Intermedia de Cuidados Generales	Sala de espera familias	51, 84 m ²	51,84	---
Unidad Intermedia de Cuidados Generales	Secretaria	12,96 m ²	12,96	3,6 x 3,6 m
Unidad Intermedia de Cuidados Generales	Puesto de enfermería (5)	12,96 m ²	64,8	3,6 x 3,6 m
Unidad Intermedia de Cuidados Generales	Prescripción	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Unidad Intermedia de Cuidados Generales	Sala de servicios	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Unidad Intermedia de Cuidados Generales	Habitación aislada (8)	12,96 m ²	103,68	3,6 x 3,6 m
Unidad Intermedia de Cuidados Generales	Área común (20 camas)	60 m ²	120	---
Unidad Intermedia de Cuidados Generales	Habitación adulto hembra	12,96 m ²	259,2	3,6 x 3,6 m
Unidad Intermedia de Cuidados Generales	Cuarto pediátrico	12,96 m ²	259,2	3,6 x 3,6 m
Unidad Intermedia de Cuidados Generales	Sanitarios masculinos y femeninos (2)	5,76 m ²	11,52	2,4 x 2,4 m
Unidad Intermedia de Cuidados Generales	Baño de hombres y mujeres en familia (2)	5,76 m ²	11,52	2,4 x 2,4 m
	TOTAL		906,24	
Servicio	Espacio	Mínimo	M² Total Estimado	Dimensiones Mínimas
Banco de Sangre	Sala de espera	23,04 m ²	23,04	4,8 x 4,8 m
Banco de Sangre	Secretaria y registro	12,96 m ²	12,96	3,6 x 3,6 m
Banco de Sangre	Archivo de donante	12,96 m ²	12,96	3,6 x 3,6 m

Banco de Sangre	Box de cuidados indiferenciados	8,64 m ²	8,64	2,4 x 3,6 m
Banco de Sangre	Caja de recogida de sangre (6)	5,76 m ²	34,56	2,4 x 2,4 m
Banco de Sangre	Sala de aféresis	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Banco de Sangre	Sala de recepción de donantes	8,64 m ²	8,64	2,4 x 3,6 m
Banco de Sangre	Sala para procesar sangre	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Banco de Sangre	Box de clasificación de sangre	2,88 m ²	2,88	1,2 x 2,4 m
Banco de Sangre	Habitación spinning	8,64 m ²	8,64	2,4 x 3,6 m
Banco de Sangre	Procedimientos de sala aséptica	30 m ²	30	6,0 x 5,0 m
Banco de Sangre	Habitación pre-stock	2,88 m ²	2,88	---
Banco de Sangre	Sala de inventario de hemocomponentes	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Banco de Sangre	Sala de distribución de pruebas de compatibilidad	8,64 m ²	8,64	2,4 x 3,6 m
Banco de Sangre	Habitación individual de transfusión	12,96 m ²	12,96	3,6 x 3,6 m
Banco de Sangre	Sala de recogida de sangre (3 camas)	8,64 m ²	17,28	2,4 x 3,6 m
Banco de Sangre	Estación de enfermería y terapia de aféresis	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Banco de Sangre	Baños donante	12,96 m ²	12,96	3,6 x 3,6 m
Banco de Sangre	Cafetería donante	23,04 m ²	23,04	4,8 x 4,8 m
Banco de Sangre	Bodega de equipos de limpieza	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Banco de Sangre	Box de cuidado - servicios sociales	12,96 m ²	12,96	3,6 x 3,6 m
Banco de Sangre	Estacionamiento para camillas y sillas de ruedas	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
TOTAL			267,6	

Servicio	Espacio	Mínimo	M ² Total Estimado	Dimensiones Mínimas
Lavandería	Recepción	25% of the total area	30	---
Lavandería	Acceso a vestidor	12,96 m ²	12,96	3,6 x 3,6 m
Lavandería	Tienda de equipos de limpieza	5,76 m ²	5,76	1,2 x 4,8 m
Lavandería	Jefe	12,96 m ²	12,96	3,6 x 3,6 m
Lavandería	Sala de trámites	45% of the total area	54	---
Lavandería	Almacenaje y Distribución	30% of the total area	40	---
Lavandería	Ropería	12,96 m ²	12,96	3,6 x 3,6 m
Lavandería	Reparación de ropa	12,96 m ²	12,96	3,6 x 3,6 m
Lavandería	Acceso a vestidor	12,96 m ²	12,96	3,6 x 3,6 m
Lavandería	Bañ exclusivo	5,76 m ²	23,04	2,4 x 2,4 m
	TOTAL		217,6	
Servicio	Espacio	Mínimo	M ² Total Estimado	Dimensiones Mínimas
Banco de Leche	Recepción y registro de donantes	12,96 m ²	12,96	3,6 x 3,6 m
Banco de Leche	Recibiendo cobro externo	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Banco de Leche	Archivo de donante	12,96 m ²	12,96	3,6 x 3,6 m
Banco de Leche	Habitaciones para recolección de leche (2)	4,0 m ²	8	---
Banco de Leche	Sala de selección	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Banco de Leche	Habitaciones para recolección de leche	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Banco de Leche	Sala de pasteurización	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Banco de Leche	Sala de liofilización	8,64 m ²	8,64	2,4 x 3,6 m

Banco de Leche	Laboratorio de control de calidad	17,28 m ²	17,28	3,6 x 4,8 m
Banco de Leche	Lavado y preparación de materiales para esterilización	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Banco de Leche	Área de distribución	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Banco de Leche	Baños donante	12,96 m ²	12,96	3,6 x 3,6 m
Banco de Leche	Baños para personal masculino y femenino	12,96 m ²	12,96	3,6 x 3,6 m
Banco de Leche	Tienda de equipos de limpieza	5,76 m ²	11,52	2,4 x 2,4 m
Banco de Leche	División administrativa	12,96 m ²	12,96	3,6 x 3,6 m
	TOTAL		144,8	
Servicio	Espacio	Mínimo	M² Total Estimado	Dimensiones Mínimas
Preparación de Leche	División administrativa	12,96 m ²	12,96	3,6 x 3,6 m
Preparación de Leche	Baño personal masculino y femenino	2,88 m ²	11,52	1,2 x 1,2 m
Preparación de Leche	Tienda de equipos de limpieza	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Preparación de Leche	Lavado de recepción y descontaminación	12,96 m ²	12,96	3,6 x 3,6 m
Preparación de Leche	Esterilización de biberones	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Preparación de Leche	Preparación y envasado de fórmulas lácteas (envase).	12,96 m ²	12,96	3,6 x 3,6 m
Preparación de Leche	Stock de distribución	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Preparación de Leche	Nutrición enteral	---	0	---
Preparación de Leche	Barrera sanitaria masculina y femenina	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Preparación de Leche	Recepción de recipientes de lavado	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Preparación de Leche	Esterilización de biberones	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Preparación de Leche	Paquete de preparación	8,64 m ²	8,64	2,4 x 3,6 m

Preparación de Leche	Contenedores de distribución	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
	TOTAL		99,36	
Servicio	Espacio	Mínimo	M² Total Estimado	Dimensiones Mínimas
Nutrición y dietética	Inspección sala de espera	12,96 m ²	12,96	3,6 x 3,6 m
Nutrición y dietética	Secretaria	12,96 m ²	12,96	3,6 x 3,6 m
Nutrición y dietética	Bodega diaria (Refrigerador y utensilios)	21,60 m ²	21,6	3,6 x 6,0 m
Nutrición y dietética	Cámara frigorífica	3,24 m ² unitary	16,2	1,8 x 1,8 m
Nutrición y dietética	Cámara frigorífica	3,24 m ² unitary	16,2	1,8 x 1,8 m
Nutrición y dietética	Nutricionista	12,96 m ²	12,96	3,6 x 3,6 m
Nutrición y dietética	Bodega de equipos de limpieza	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Nutrición y dietética	Depósito perecedero	17,28 m ²	17,28	3,6 x 4,8 m
Nutrición y dietética	Celosía (jaula para ventilación de alimentos perecederos)	12,96 m ²	12,96	3,6 x 3,6 m
Nutrición y dietética	Comida	12,96 m ²	12,96	3,6 x 3,6 m
Nutrición y dietética	Preparación de comida	5,76 m ²	115,2	2,4 x 2,4 m
Nutrición y dietética	Dietas normales de cocina	36,0 m ²	36	6,0 x 6,0 m
Nutrición y dietética	Postres	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Nutrición y dietética	Comida dietética	17,28 m ²	86,4	3,6 x 4,8 m
Nutrición y dietética	Dieta normal	5,76 m ²	28,8	2,4 x 2,4 m
Nutrición y dietética	Artículos para dietas especiales	5,76 m ²	28,8	2,4 x 2,4 m
Nutrición y dietética	Lavado platos y utensilios	5,76 m ²	28,8	2,4 x 2,4 m
Nutrición y dietética	Lava vajilla	12,96 m ²	64,8	3,6 x 3,6 m
Nutrición y dietética	Lavado de carros	5,76 m ²	28,8	2,4 x 2,4 m

Nutrición y dietética	Baño personal masculino y femenino	23,04 m ²	23,04	4,8 x 4,8 m
Nutrición y dietética	Distribución	17,28 m ²	86,4	3,6 x 4,8 m
Nutrición y dietética	Comedor (200 personas)	1,0 m ² per person	200	---
Nutrición y dietética	Baños masculinos y femeninos con discapacidad	5,76 m ²	138,24	2,4 x 2,4 m
Nutrición y dietética	Cafetería	1,0 m ² per donor	50	---
		TOTAL	1062,88	
Servicio	Espacio	Mínimo	M² Total Estimado	Dimensiones Mínimas
Farmacia	Recepción e inspección	10% of the storage area	16,4	---
Farmacia	Almacenamiento y control	164 m ²	164	
Farmacia	Drogas controladas	5,76 m ²		---
Farmacia	Medicamentos inmunobiológicos	6,0 m ²	6	
Farmacia	Cuarentena	17,28 m ²	17,28	3,6 x 4,8 m
Farmacia	Embalaje	23,04 m ²	23,04	4,8 x 4,8 m
Farmacia	Materia prima no inflamable	12,96 m ²	12,96	3,6 x 3,6 m
Farmacia	Materia prima inflamable	12,96 m ²	12,96	3,6 x 3,6 m
Farmacia	Distribución	10% of the storage area	16,4	---
Farmacia	Dispensación	8,64 m ²	8,64	2,4 x 3,6 m
Farmacia	Farmacotécnica, manipulación y segmentación	25,92 m ²	25,92	3,6 x 7,2 m
Farmacia	Nutrición parenteral	25,92 m ²	25,92	3,6 x 7,2 m
Farmacia	Preparación y dilución de germicidas	25,92 m ²	25,92	3,6 x 7,2 m

Farmacia	Preparación y dilución de los citostáticos.	8,64 m ²	8,64	2,4 x 3,6 m
Farmacia	Materiales desechables	23,04 m ²	23,04	4,8 x 4,8 m
Farmacia	Centro de información de drogas	8,64 m ²	8,64	2,4 x 3,6 m
Farmacia	Laboratorio de control de calidad	11,52 m ²	11,52	2,4 x 4,8 m
Farmacia	Soluciones parenterales	8,64 m ²	8,64	2,4 x 3,6 m
Farmacia	Lavado, preparación y esterilización de material	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Farmacia	Tienda de equipos de limpieza	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Farmacia	Vestidor femenino y masculino	23,04 m ²	23,04	4,8 x 4,8 m
Farmacia	Secretaria	12,96 m ²	12,96	3,6 x 3,6 m
	TOTAL		463,44	
Servicio	Espacio	Mínimo	M² Total Estimado	Dimensiones Mínimas
Esterilización	Salida	---		---
Esterilización	Recepción, desinfección y separación de materiales	32,8 m ²	32,8	---
Esterilización	Material de lavado	32,8 m ²	32,8	---
Esterilización	Sala de preparación de guantes	8,64 m ²	8,64	2,4 x 3,6 m
Esterilización	Recepción de ropa	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Esterilización	Ropa limpia y recepción de material	12,0 m ²	12	---
Esterilización	Sala física para esterilización	8,64 m ²	8,64	2,4 x 3,6 m
Esterilización	Sala de esterilización química líquida	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Esterilización	Subunidades de esterilización de gases	8,0 m ²	8	2,0 x 4,0 m
Esterilización	Tablero de mando	2,88 m ²	2,88	1,2 x 2,4 m

Esterilización	Cámara de esterilización	5,76 m ²	23,04	2,4 x 2,4 m
Esterilización	Tienda de reformas y esterilización	1,44 m ²	1,44	1,2 x 1,2 m
Esterilización	Cuarto de cuarentena	5,76 m ²	8,64	2,4 x 2,4 m
Esterilización	Acceso a la preparación del apósito	8,64 m ²	8,64	2,4 x 3,6 m
Esterilización	Almacenamiento y distribución desechables	25% of the storage of discarded material	30	---
Esterilización	Almacenamiento y distribución de ropa	12,00 m ²	12	---
Esterilización	Vestidor de acceso a bodega	8,64 m ²	8,64	2,4 x 3,6 m
Esterilización	Lavado y desinfectado	8,64 m ²	43,2	2,4 x 3,6 m
Esterilización	Bodega de material esterilizado	36,0 m ²	36	6,0 x 6,0 m
Esterilización	Tienda de equipos de limpieza	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Esterilización	División administrativa	12,96 m ²	12,96	3,6 x 3,6 m
Esterilización	Acceso a mantenimiento	---		---
TOTAL			307,6	
Servicio	Espacio	Mínimo	M ² Total Estimado	Dimensiones Mínimas
Administración	Sala principal - sala de espera general	---		---
Administración	Espera - director	12,96 m ²	12,96	3,6 x 3,6 m
Administración	Baños públicos masculinos y femeninos (8)	5,76 m ²	46,08	2,4 x 2,4 m
Administración	Sala de Reuniones	---		---
Administración	Director general	21,60 m ²	21,6	3,6 x 6,0 m
Administración	Director clínico	12,96 m ²	12,96	3,6 x 3,6 m
Administración	Director de cirugía	12,96 m ²	12,96	3,6 x 3,6 m

Administración	Director de enfermería	12,96 m ²	12,96	3,6 x 3,6 m
Administración	Director de mantenimiento	12,96 m ²	12,96	3,6 x 3,6 m
Administración	Recepción de información general	12,96 m ²	12,96	3,6 x 3,6 m
Administración	Recepción - convención	12,96 m ²	12,96	3,6 x 3,6 m
Administración	Central de comunicaciones	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Administración	Registro Civil	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Administración	Control del personal	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Administración	Contabilidad - Personal - Finanzas	75 m ²	75	---
Administración	Archivo de administración	50 m ²	50	---
Administración	Registros médicos y estadísticos	50 m ²	50	---
Administración	Baños del personal femenino y masculino	5,76 m ²	46,08	2,4 x 2,4 m
Administración	Control de infecciones	17,28 m ²	17,28	3,6 x 4,8 m
Administración	Inspección de salud	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Administración	Bodega de equipos de limpieza	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Administración	Guardia (Carabineros)	5,76 m ²	5,76	2,4 x 2,4 m
Administración	Sala	1250 m ²	1250	---
	TOTAL		1681,32	
Servicio	Espacio	Mínimo	M² Total Estimado	Dimensiones Mínimas
Limpieza y Conserjería	Equipo de limpieza y bodega de carros	2,88 m ²	28,8	Mínimo 1.0 m
Limpieza y Conserjería	Bodega de residuos	5,76 m ²	57,6	2,4 x 2,4 m
Limpieza y Conserjería	Equipamiento y sala de preparación de materiales	5,76 m ²	57,6	2,4 x 2,4 m
Limpieza y Conserjería	Seguridad y protección	5,76 m ²	17,28	2,4 x 2,4 m
	TOTAL		161,28	

Servicio	Espacio	Mínimo	M ² Total Estimado	Dimensiones Mínimas
Confort e higiene	Recepción y sala de espera - una habitación por unidad solicitante	1,2 m ² per person	120	---
Confort e higiene	Sala de estar - 1 unidad de habitación solicitando	1,3 m ² per person	130	---
Confort e higiene	Sala de recreación de pacientes y pacientes internos	1,5 m ² per patient	150	---
Confort e higiene	Vestidor para paciente	2,25 m ² per patient	22,5	---
Confort e higiene	Donantes pacientes y baño público	1,6 m ² per patient	16	---
Confort e higiene	Donantes pacientes y baño público	3,2 m ² per patient	32	---
Confort e higiene	Donantes pacientes y baño público	collective	15	---
Confort e higiene	Baño para pacientes hospitalizados	3,6 m ² individual	360	---
Confort e higiene	Baño para pacientes hospitalizados	4,8 m ² individual	480	---
Confort e higiene	Box con ducha	1,0 m ²	100	---
Confort e higiene	Grupo de aseo	---		
Confort e higiene	Espacio para guardar pertenencias	0.3 m ² per person	69	---
Confort e higiene	Sala de personal	1,3 m ² per person	130	---
Confort e higiene	Habitación para el personal de guardia	12,96 m ²	129,8	3,6 x 3,6 m
Confort e higiene	Vestidor central para el personal	0.5 m ² per staff	115	

		member on duty		
Confort e higiene	Baños de personal	---	60	---
Confort e higiene	Baños de personal	---	60	---
Confort e higiene	Vestidor para el personal.	0,5 m ² per patient	115	---
Confort e higiene	Sala de personal del armario	0.3 m ² per patient	69	---
Confort e higiene	Sala de espera de público	1,3 m ² per patient	299	---
	TOTAL		2472,3	

Servicio	Espacio	Mínimo	M ² Total Estimado	Dimensiones Mínimas
Área de Recursos Humanos y Capacitación	Aulas	75 m ²	75	---
Área de Recursos Humanos y Capacitación	Sala de estudio	50 m ²	50	---
Área de Recursos Humanos y Capacitación	Sala de profesores	8,64 m ²	8,64	2,4 x 3,6 m
Área de Recursos Humanos y Capacitación	Anfiteatro	240 m ²	240	---
Área de Recursos Humanos y Capacitación	Sala	24 m ²	24	---
Área de Recursos Humanos y Capacitación	Comedor	12,96 m ²	12,96	3,6 x 3,6 m
Área de Recursos Humanos y Capacitación	Baño masculino y femenino	8,64 m ²	17,28	2,4 x 3,6 m
Área de Recursos Humanos y Capacitación	Baños de personal	8,64 m ²	17,28	2,4 x 3,6 m
Área de Recursos Humanos y Capacitación	Biblioteca	40 m ²	40	---
Área de Recursos Humanos y Capacitación	Recepción	12,96 m ²	12,96	3,6 x 3,6 m
Área de Recursos Humanos y Capacitación	Estantes de libros	---		---
Área de Recursos Humanos y Capacitación	Librería	20 m ²	20	---
Área de Recursos Humanos y Capacitación	Procesos técnicos	12,96 m ²	12,96	3,6 x 3,6 m
Área de Recursos Humanos y Capacitación	Sala de lectura	40 m ²	40	---
Área de Recursos Humanos y Capacitación	División administrativa	12,96 m ²	12,96	3,6 x 3,6 m
	TOTAL		584,04	

Servicio	Espacio	Mínimo	M ² Total Estimado	Dimensiones Mínimas
Mantenimiento	Recepción	10% of the area offices	25	---
Mantenimiento	Cerrajería de oficina	---	250	---
Mantenimiento	Carpintería	---		---
Mantenimiento	Pintura	---		---
Mantenimiento	Eléctrico	---		---
Mantenimiento	Hidráulico	---		---
Mantenimiento	Refrigeración	---		---
Mantenimiento	Gasfitería	---		---
Mantenimiento	Mecánico	---		---
Mantenimiento	Electrónica	---		---
Mantenimiento	Electromecánica	---		---
Mantenimiento	Óptica	---		---
Mantenimiento	Mecánica detallada	---		---
Mantenimiento	Tapicería	---		---
Mantenimiento	Sala para almacenamiento y distribución	10% of the area offices	25	---
Mantenimiento	Ingreso	---		---
	TOTAL		300	
Servicio	Espacio	Mínimo	M ² Total Estimado	Dimensiones Mínimas
Gestión central de materiales y equipos	Sala - recepción, inspección y registro	10% of the storage area	22,5	---
Gestión central de materiales y equipos	Bodega	246 m ²	246	---
Gestión central de materiales y equipos	Distribución	10% of the	22,5	---

		storage area			
Gestión central de materiales y equipos	Bodega de equipos y materiales	30,0 m ²	30	---	
Gestión central de materiales y equipos	Camas de la habitación, sillas de ruedas, carros.	12,96 m ²	12,96	3,6 x 3,6 m	
Gestión central de materiales y equipos	Placas y películas	4,0 m ²	4	---	
	TOTAL		337,96		
Servicio	Espacio	Mínimo	M² Total Estimado	Dimensiones Mínimas	
Infraestructura Predial	Sala de grupo generador	---	500	---	
Infraestructura Predial	Subestación eléctrica	---		---	
Infraestructura Predial	Sala de calderas	---		---	
Infraestructura Predial	Sala de máquinas y bombas	---		---	
Infraestructura Predial	Acondicionadores de aire de la habitación	---		---	
Infraestructura Predial	Recepción de residuos sólidos	---		---	
Infraestructura Predial	Sala para gases medicinales	---		---	
Infraestructura Predial	Sala para gas central (cilindro)	---		---	
Infraestructura Predial	Tratamiento de desechos	---		---	
Infraestructura Predial	Garajes	---		---	
Infraestructura Predial	Estacionamiento (375)	4500		1125	---
	TOTAL			1625	