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



ÍNDICE

ÍNDICE	2
CAPÍTULO 0: METODOLOGÍA DE PRIORIZACIÓN	6
0.1 Método Analítico Jerárquico	6
0.2.1. Definiciones Iniciales	8
0.2.2. Definición de Atributos	10
0.2.3. Creación de Plantilla de Matriz	11
0.2.4. Llenado y clasificación de la matriz	12
0.2.5. Definición del peso relativo de los atributos	13
0.2.6. Creación de Guías Descriptivas	14
0.2.7. Definición y Validación de Subatributos	15
0.2.8. Clasificación de elementos	15
0.2.9. Validación Resultados	16
0.2.10. Definición de Alcance	16
0.3 Detalles para las actividades recomendadas.	17
SD para Validación de Ponderadores (de 0.2.5.)	17
SD para Elección de Elementos (de 0.2.7.)	18
SD para Validación de Atributos y Subatributos (de 0.2.6)	21
CAPÍTULO 1: PLANIFICACIÓN Y COORDINACIÓN	22
1.3.1. Estimación de recursos	26
1.3.2. Asignación de recursos	27
1.3.3. Nivelación de recursos	28
CAPÍTULO 2: FASE DE DISEÑO	36
2.1. Diseño Arquitectónico	37
2.1.1. La grilla	38
2.1.2. Modularización	39
2.1.3. Estandarización	40
2.1.4. Coordinación Temprana	40
2.1.5. Dimensionamiento en Planta	40
2.1.6. Dimensionamiento de la Sección	41
	2





2.1.7. Consideraciones dimensionales en diseño.	41
2.2. Diseño Estructural de los módulos o componentes	42
2.3. Diseño de Especialidades	42
2.3.1. Resumen de Especialidades	43
2.4. BIM para DfMA	44
2.4.1. Beneficios de adoptar BIM para DfMA	44
CAPÍTULO 3: FASE DE FABRICACIÓN	47
3.1. Requerimientos para fabricación	48
3.2. Consideraciones para Fabricación	48
3.3. Trabajos Previos	49
3.4. Proceso Constructivo	50
3.5. Sistemas de Control	52
3.6. Empaque, protección y etiquetado	53
CAPÍTULO 4: FASE LOGÍSTICA	54
4.1 Plan de Transporte	55
4.1.2. Transporte en Camión	56
4.1.3. La Ruta	57
4.2 Ubicación del proyecto y áreas adyacentes	57
4.3 Gestión de Tránsito para cargas muy pesadas	58
4.4 Tipo de maquinaria para izaje.	59
4.5. Consideraciones para almacenamiento	59
4.5.1. La fábrica	59
4.5.1.1. Distribución Especializada	60
4.5.1.2. Distribución Funcional	60
4.7 Consideraciones para Manipulación	62
4.8 Seguridad en la Fase Logística	64
CAPÍTULO 5: FASE DE MONTAJE	67
5.1 Estrategias para Montaje	67
5.2 Consideraciones Generales	68
5.3 Secuencia de montaje de módulos	68





5.4 Conexión	70
CAPÍTULO 6: INSPECCIÓN TÉCNICA Y RECEPCIÓN EN OBRA	73
6.1. Aspectos claves para inspección	73
6.2. Recepción Técnica	76
6.2.1. Generalidades para Recepción de Diseño	77
6.2.2. Generalidades para Recepción de Fabricación	77
6.2.3. Generalidades para Recepción en Obra	77
6.2.4. Generalidades para Recepción Definitiva	77
CAPÍTULO 7: REGULACIONES	79
7.1. Para Criterios de Diseño	79
7.2. Para Criterios de Especialidades	80
7.2.1. Electricidad	80
7.2.2. Obras Sanitarias	80
7.2.3. Instalaciones de Climatización	81





PARTE 2 GUÍA TÉCNICA PARA INDUSTRIALIZACIÓN EN PROYECTOS




Fuente 1: <https://medium.com/>



CAPÍTULO 0: METODOLOGÍA DE PRIORIZACIÓN

En este capítulo 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.

0.1 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)¹. 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)². 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.

0.2 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.

¹ Moreno Jiménez, J.M. (2002). El Proceso Analítico Jerárquico (AHP). Fundamentos, Metodología y Aplicaciones. Departamento Métodos Estadísticos. Facultad de Económicas. Universidad de Zaragoza.

² Taoufikallah, A. (2013). Selección del Sistema de Gestión de la Producción Mediante la Metodología AHP. Universidad de Sevilla.

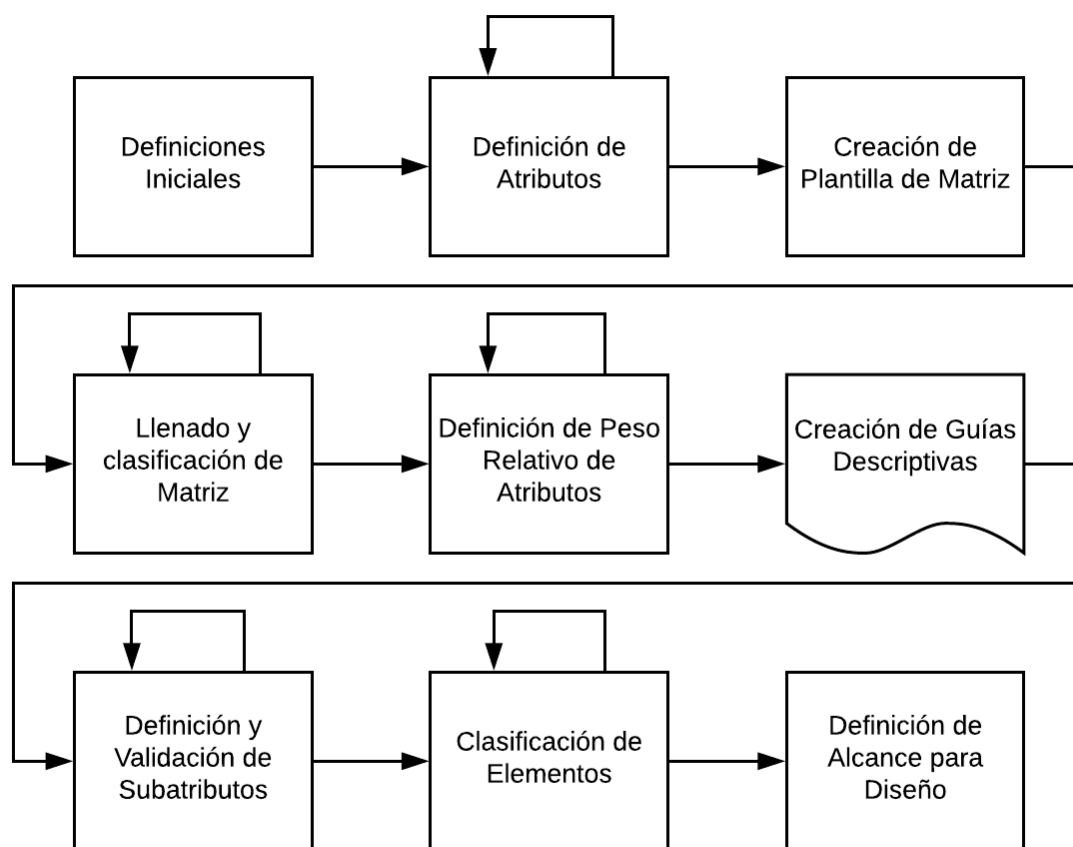


Ilustración 1: Proceso de Implementación (Fuente: Elaboración Propia)

0.2.1. 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 1. 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 brainstormings, votaciones, diseño colaborativo, etc.

- **Sesiones a Distancia (Desde ahora, SD)**

Tabla 2. 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 3. 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 4. Tabla resumen de Stakeholders

Tabla 4. 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, Docentes, Profesionales altamente calificados.
Expertos Asesores	Profesionales que apoyan y validan a los coordinadores en aspectos técnicos y normativos.	Arquitectos Hospitalarios, Fabricantes de Construcción 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.

0.2.2. 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 5.

Tabla 5. 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*.

0.2.3. 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 Ilustración 2 un ejemplo de plantilla:

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

Ilustración 2. 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.

0.2.4. 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)³.

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 6.

Tabla 6. 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

³ Moreno Jiménez, J.M. (2002). El Proceso Analítico Jerárquico (AHP). Fundamentos, Metodología y Aplicaciones. Departamento Métodos Estadísticos. Facultad de Económicas. Universidad de Zaragoza.



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.
- 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.

0.2.5. 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

Ilustración 3. 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

0.2.6. 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.

0.2.7. 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.

0.2.8. 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 cantidad 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.

0.2.9. 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.

0.2.10. 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 7. 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	<ul style="list-style-type: none">- Revestimientos- Cobertura Pisos- Terminaciones- Cielo- Pinturas- Etc.
FACILIDADES	<ul style="list-style-type: none">- Conexiones necesarias- Artefactos necesarios- Quincallería Necesaria- Etc.
MODULAR	<ul style="list-style-type: none">- Consideraciones de Modularidad- Flexibilidad- Montaje y apilabilidad con otros módulos.- Modelos de Módulo que se crearán.

Algunas recomendaciones respecto a esta actividad:

- Previo a la sesión se recomienda que los coordinadores de la implementación tenga 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 Tabla 7 de la Guía de Priorización de Elementos).

0.3 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.

SD para Validación de Ponderadores (de 0.2.5.)

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 8. 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.

SD para Elección de Elementos (de 0.2.7.)

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 9. 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					

Ilustración 4. 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 10. Modelos para clasificación de preferencia.

Vía de Cálculo	Fórmula Final	Guía de Cálculo
----------------	---------------	-----------------

A	$Y_i = \sum_{l=1}^M \sum_{k=1}^A \left(\frac{\sum_{j=1}^{S_k} x_{ijkl}}{S_k} \right) / \left(\sum_{l=1}^M \left(\frac{\sum_{j=1}^{S_k} x_{ijkl}}{S_k} \right) \right)$	<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	$Y_i = \sum_{k=1}^A \left(\frac{\sum_{j=1}^{S_k} \text{Moda}_{\text{Cada};j}^{De;l}(x_{ijkl})}{S_k} \right)$	<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	$Y_i = \sum_{k=1}^A \left(\frac{\sum_{l=1}^M \text{Moda}_{\text{Cada};k}^{De;j}(x_{ijkl})}{M} \right)$	<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°

Ilustración 5. Ejemplo de consolidación de rankings.

SD para Validación de Atributos y Subatributos (de 0.2.6)

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

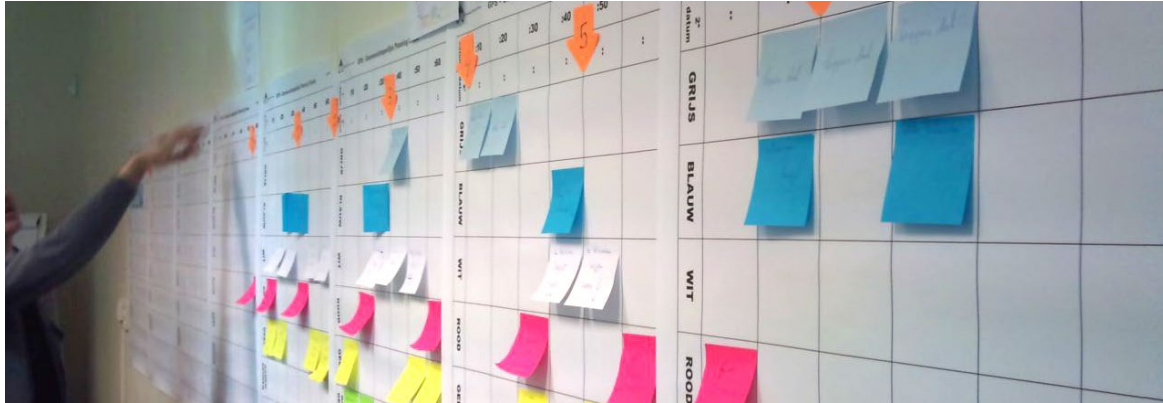
Los expertos participantes deben leer las descripciones de cada uno de los atributos y subatributos antes de partir la evaluación. Este paso es importante, ya que el experto estará en conocimiento si algún indicador que hace falta en un atributo ya está siendo considerado en otro.

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.




CAPÍTULO 1: PLANIFICACIÓN Y COORDINACIÓN

1.1. Requerimientos para la planificación inicial

La planificación debe comenzar tempranamente, en cuanto se tenga claridad de la estructura del proyecto. Para ello, se recomienda que ésta comience una vez desarrollado el diseño preliminar y contando con una clarificación detallada de los objetivos y metas del proyecto (Jara, 2010). En primer lugar, se requiere de un análisis del alcance del proyecto, en el cual se detallarán los objetivos de costo, plazo, calidad y requisitos del proyecto. Para ello se requiere que el equipo de diseño y el mandante informen en una etapa temprana al contratista del alcance, por medio de presentaciones, reuniones informativas y documentos técnicos. Es importante que el contratista cuente con el espacio para resolver dudas de alcance con el mandante y equipo de diseño, y se recomienda que éste participe del proceso de definición de alcance (Ferrer, 2009).

En segundo lugar, se requiere de un análisis preliminar de la constructabilidad del proyecto, es decir, analizar los requerimientos y del proyecto y características del diseño preliminar para detectar tempranamente los requisitos técnicos de la solución y el programa (Gardilicic, 2010). El análisis de constructabilidad debe realizarse con un Equipo Integrado del Proyecto (EIP), que incluya al mandante, arquitecto, especialidades y contratista (Jara, 2010). En el caso de proyectos que integren elementos industrializados, el proveedor debe participar como un especialista más del EIP.



Del análisis de constructabilidad se detectarán requerimientos tempranos para la planificación, como procesos y procedimientos para asegurar la calidad y factibilidad técnica de la obra, requerimientos de equipos especializados y competencias requeridas de la mano de obra (Gardilicic, 2010). Algunos de los aspectos clave para la definición de la constructabilidad son el espacio de la obra, tipos de componentes y materialidades, compatibilidad de la obra tradicional y elementos industrializados, entre otros.

Una vez analizada la constructabilidad, deberá procederse a determinar las metas del proyecto, las cuales constituirán los hitos. Los hitos constituirán las bases de la estructura del Plan Maestro de Obra (PM) y corresponden a las promesas de cumplimiento de plazos de avance y entrega al mandante. Por ende, cada hito queda definido por la recepción de una partida finalizada de obra (Rodríguez, Alarcón, & Pellicer, 2011).

Cabe destacar que los hitos definidos en esta etapa corresponden a los "Hitos Principales", de carácter inamovible y definidos en base al contrato y propuesta de diseño. Por ello, es relevante que, en el proceso de definición de los hitos, se analice la factibilidad técnica, constructabilidad y capacidad del contratista, ya que una de las principales razones del fallo de la planificación es el planteamiento de hitos no factibles de alcanzar (Ferrer, 2009). Si se identifican hitos no factibles o que estresan el programa, se deberá notificar tempranamente al EIP y llevar a cabo sesiones de trabajo o propuestas para asegurar la factibilidad o modificar el hito (Gardilicic, 2010).

Una vez definidos los Hitos Principales, se deberá analizar la metodología constructiva, que incluye analizar los sistemas disponibles, tecnologías y equipos necesarios para el cumplimiento del alcance del proyecto. La selección de la metodología constructiva será fundamental para la determinación de la secuencia, programa y planificación. En esta etapa es fundamental contar con claridad de las capacidades técnicas y experiencia del contratista, con el fin de seleccionar una metodología que facilite la entrega en plazo y alcance de los hitos del proyecto. Por ello, es altamente recomendable que, durante el proceso de definición de la metodología, se lleven a cabo sesiones de trabajo colaborativo con el EIP (Jara, 2010). En dichas sesiones deberán analizarse las ventajas e impacto en costo, constructabilidad, plazo y calidad de la utilización de distintas metodologías. Frente a la selección de una u otra alternativa, se recomienda utilizar la metodología de Choosing by Advantages para la clarificación de las ventajas de la selección (Parrish & Tommelein, 2009).

Finalmente, deberán determinarse las restricciones de la secuencia constructiva según la metodología seleccionada. Las restricciones de secuencia permitirán determinar el orden y plazo de las principales actividades, así como la capacidad de la obra para ejecutar secuencial o paralelamente actividades del programa. La Ilustración 6 resume el proceso previo a la planificación inicial.

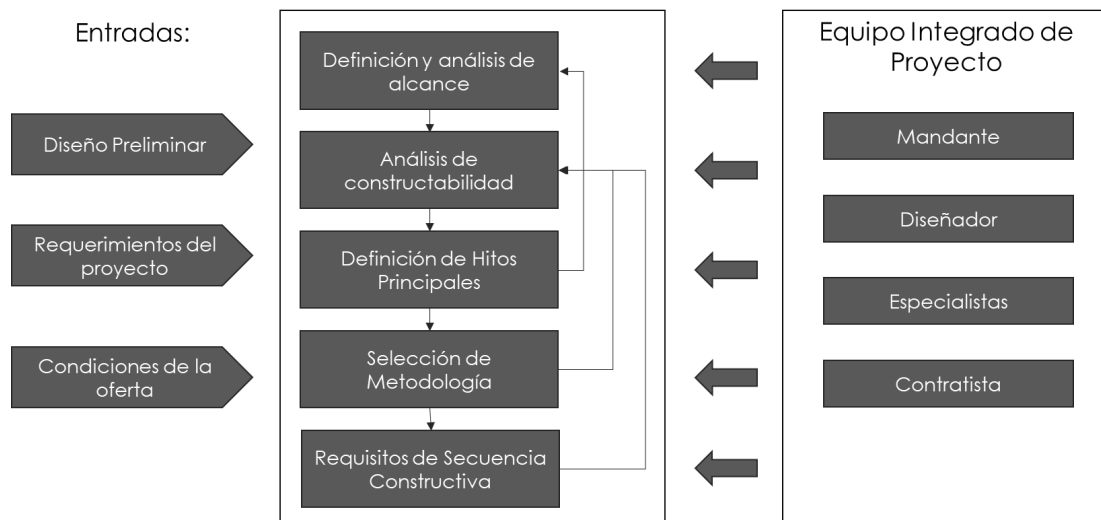


Ilustración 6. Resumen del proceso previo a la planificación inicial.

1.2. Planificación inicial

La planificación inicial determinará la estructura del proyecto, su secuencia y objetivos operacionales. Para ello, se requiere contar con la selección de metodología, restricciones de secuencia e hitos principales de programa. Los hitos principales constituirán la base del programa y determinarán los plazos de producción. Entre cada hito deberán definirse hitos intermedios de acuerdo a los requisitos de secuencia. Cada hito intermedio constituye una meta de avance, definida como el término de una actividad en una sección particular de la obra, por ejemplo, "Término del hormigonado de Losa C 2° Nivel". Los hitos intermedios deberán ser programados temporalmente entre los hitos principales, definiéndose los plazos de producción y buffers requeridos entre los hitos (Flores, 2010). La distribución de hitos marcará el ritmo de la obra, por lo que es importante que en esta etapa se identifique y marquen explícitamente los buffers considerados para asegurar el cumplimiento de los hitos intermedios y principales.

Es recomendable que la planificación de hitos explicita la secuencia constructiva, por medio de la demarcación de relaciones de precedencia según las restricciones de secuencia (Serpell & Alarcón, 2002). La Ilustración 7 presenta dos aplicaciones de un método recomendado para explicitar las restricciones de secuencia en el plan de hitos. Según este método, se delimitan horizontalmente las etapas o funciones del proyecto, mientras que los hitos son programados verticalmente, concatenados por medio de líneas que representan la precedencia. En la sección izquierda, se han delimitado horizontalmente las funciones del proyecto, mientras que en la sección derecha, las columnas representan secciones del proyecto.

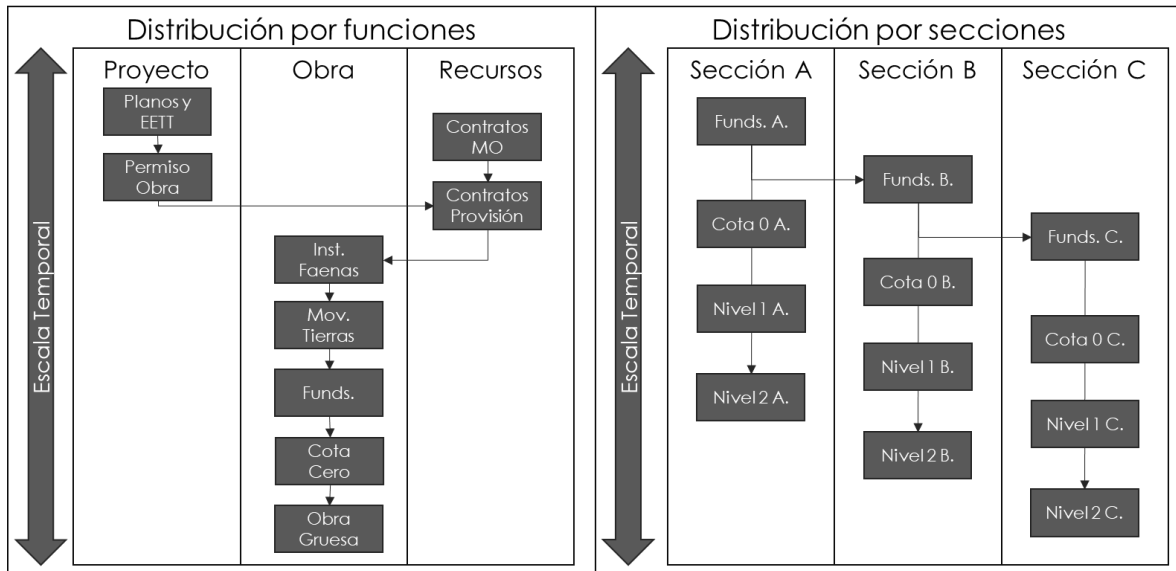


Ilustración 7. Ejemplos de métodos aplicados.

Dependiendo de las dimensiones de la obra, complejidad y escala temporal, es posible que se requieran programar actividades principales entre hitos intermedios para dar mayor coherencia al programa. En dicho caso, se recomienda programar también términos y no inicios, de forma de marcar claramente los entregables y plazos para la completitud de cada actividad y el cumplimiento de los hitos. Por último, se recomienda realizar la programación utilizando el método de *Pull Planning*, determinando la secuencia de fin a inicio y estimando los plazos requeridos para completar cada hito antes de programar el hito u actividad predecesora (Ballard, 2000a). Este método, realizado de forma colaborativa, permite clarificar los plazos, buffers y supuestos considerados en el establecimiento de la secuencia y programa (Tommelein, 1998).

1.3. Planificación de recursos

En esta sección se proponen métodos para la estimación, asignación y nivelación de recursos de producción (Materiales, mano de obra, equipos y recursos monetarios) que aseguren el cumplimiento de las metas de proyecto. La correcta asignación de recursos permitirá maximizar la capacidad de cumplir las metas de alcance dentro de un costo y plazo atractivo para el mandante y contratista. Las técnicas propuestas en esta sección corresponden a una recopilación de las metodologías propuestas en el libro "Planificación y Control de Proyectos" de Serpell y Alarcón (2002).

1.3.1. Estimación de recursos

En primer lugar, se requiere conocer los rendimientos de los factores productivos (Mano de obra y equipos). Para ello, se sugiere referirse a valores de referencia disponibles en base a proyectos pasados, información operacional empresarial o recopilaciones de estudios del sector construcción disponibles en el estado del arte.

Para la estimación de la mano de obra, se requiere de la estimación de un rendimiento medio en función de la productividad por hora-hombre u hombre-día para una cuadrilla tipo. Luego, utilizando las cubicaciones del proyecto y los plazos de producción definidos por el plan de hitos, calcular los requerimientos de cuadrillas efectivas disponibles en terreno. Por ejemplo, para enfierradura de losas, puede utilizarse una estimación de 110 Kg / Hombre-día, para una cuadrilla tipo de 2 enfierradores y un ayudante. Luego, si se tienen cubicaciones de losa de 1.000 m² por piso, para un ritmo de 2 pisos por mes, equivalentes a un estimado de 40.000 kg de enfierradura por mes, se necesitarían aproximadamente 6 cuadrillas tipo para cumplir el rendimiento objetivo. La siguiente ecuación representa el cálculo estimativo.

$$N^{\circ} \text{ Cuadrillas} = \frac{2 \text{ pisos} \cdot 1.000 \text{ m}^2(\text{superficie}) \cdot 0,2 \text{ m}(\text{espesor}) \cdot 100 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{3 \text{ hombres} \cdot 110 \frac{\text{kg}}{\text{HD}} \cdot 20 \text{ días}} = 6$$

Una vez determinados los requerimientos de mano de obra, deben estimarse los requerimientos de equipos requeridos para asegurar la productividad de la mano de obra. Los equipos de montaje requieren de una alta inversión y su arrendamiento operacional es caro, por lo cual es clave asegurar que se ha optimizado el requerimiento. Para ello, deben analizarse las partidas que utilizan dichos recursos y luego estudiarse la programación de hitos y secuencia para determinar si las partidas harán uso secuencial o paralelo de los equipos.

Luego, la disponibilidad de equipos deberá determinarse para el cuello de botella, es decir las secciones del programa en que se ejecuten un mayor número de partidas en paralelo que requieran del equipo. En dichas secciones deberá realizarse una estimación detallada del requerimiento semanal y en base a ella, determinar el máximo requerido de equipamiento para cumplirlo. Por ejemplo, en el caso de las grúas, el cuello de botella se produce en la etapa de obra gruesa donde estén en ejecución un mayor número de secciones de hormigonado de losa y muros, debido a los requerimientos de movimiento de moldaje, enfierradura y hormigón. Una vez determinado el requerimiento máximo en el cuello de botella, podrán analizarse el resto de las secciones de programa para determinar la progresión del aumento de equipos y luego la disminución incremental de los equipos disponibles en terreno. Para mayor información referirse a Serpell y Alarcón (2002)

1.3.2. Asignación de recursos

Una vez que se identifican los recursos disponibles en obra para cada sección del programa, se pueden utilizar métodos de asignación de recursos para su distribución. Existen diversas heurísticas para su asignación, como la priorización de actividades con holgura mínima, priorización de actividad con menor fecha de término o priorización de actividades con mayor consumo de recursos, entre otras (Para mayor información referirse a: Serpell y Alarcón,2002). A continuación, se presenta un ejemplo utilizando las heurísticas de priorización de holgura mínima (1) y maximización del número de actividades trabajando (2): La Tabla 11. presenta la duración, precedencia, consumo de recursos y holgura total de 4 actividades, donde A es predecesora de B, C y D.

Tabla 11. Actividades de ejemplo

Actividad	Predecesora	Duración	Consumo	Holgura
A	-	2	4	0
B	A	2	2	2
C	A	3	4	0
D	A	2	4	1

En consecuencia, si se tienen 8 unidades de recurso disponible por período, la actividad A podrá utilizar la totalidad de los recursos ya que no tiene actividades concurrentes. Por lo tanto, A se ejecuta completamente en 1 sólo período. Luego, en el segundo período las actividades B, C y D requieren de 10 recursos para ejecutarse por lo que deberán ser priorizadas. En consecuencia, se prioriza C por tener menor holgura, luego D y finalmente B. En cada período se asignan recursos hasta acabarlos, primero a la actividad de menor holgura y luego a las siguientes hasta consumirlos. Si alguna actividad no trabaja, consumirá su holgura progresivamente. La Tabla 12. presenta la asignación de recursos por período para el ejemplo.

Tabla 12. Asignación de Recursos del Ejemplo

Período	Rs. Disp.	Acts. Trabajando	Consumo	Rs. Rtes.	Duración Rte.	Holgura
1	8	A	8	0	0	0
2	8	C	4	4	2	0
	4	D	4	0	1	1
	0	B	0	0	2	1
3	8	C	4	4	1	0
	4	D	4	0	0	1
	0	B	0	0	2	0

4	8	C	4	4	0	0
	4	B	2	2	1	0
5	8	B	2	6	0	0

1.3.3. Nivelación de recursos

Para nivelar el consumo de recursos por período en una obra en la cual se conocen las relaciones de precedencia entre actividades, la ruta crítica y las holguras de cada actividad, se recomienda la utilización del Algoritmo de Burgess. Dicho método es descrito en profundidad en Serpell y Alarcón (2002).

El algoritmo de Burgess propone aplazar actividades con holgura para disminuir la desviación total del consumo de recursos por período de obra. Para ello, se utiliza un factor de consumo de recursos equivalente a la sumatoria del valor cuadrado de los consumos de cada período. Luego, la actividad de mayor holgura se desplaza a su plazo más tardío de ejecución y se vuelve a calcular el factor de consumo. Si éste ha disminuido, la actividad se fija en su nueva posición y se vuelve a realizar el método para la siguiente actividad de mayor holgura. Si en una iteración el desplazamiento no disminuye el factor de consumo, la actividad no se desplaza y se procede a desplazar la siguiente actividad en la lista.

En un ejemplo simple, con 5 actividades, donde la actividad A es predecesora de B, C y D, las cuales son predecesoras de la actividad E, el algoritmo de Burgess propone realizar iteraciones de la programación hasta minimizar la desviación del consumo. La Tabla 13 presenta los datos requeridos para el ejemplo y la Ilustración 8 e Ilustración 9 la estimación del factor de consumo antes y después de aplicar el algoritmo respectivamente.

Tabla 13. Los datos requeridos para el ejemplo.

Actividad	Predecesora	Duración	Consumo	Holgura
A	-	1	2	0
B	A	1	2	2
C	A	3	2	0
D	A	2	3	1
E	B, C, D	2	2	0

Programa inicial					
	T1	T2	T3	T4	T5
A	2				
B		2	Holgura		
C		2	2	2	
D		3	3	Holgura	
E					2
Consumo período	2	7	5	2	2
Factor de consumo	86 (suma de cuadrados)				

Ilustración 8 Estimación del factor de consumo antes de aplicar el algoritmo

Programa nivelado					
	T1	T2	T3	T4	T5
A	2				
B				2	
C		2	2	2	
D		3	3	Holgura	
E					2
Consumo período	2	5	5	4	2
Factor de consumo	74 (suma de cuadrados)				

Ilustración 9 Estimación del factor de consumo después de aplicar el algoritmo

1.4. Programación de actividades

Para la programación de actividades se utilizan como base las actividades principales obtenidas de la programación inicial y planificación de recursos. Éstas constituirán las Actividades Madre. Luego, se recomienda la utilización de una Estructura de Subdivisión de Trabajo (ESP), para dividir la actividad en partidas secuenciales o concurrentes. Por ejemplo, la ejecución de un piso (Act. 1) puede dividirse en muros (Act. 1.1.), pilares (Act. 1.2.) y losa (Act. 1.3.), así mismo, losa puede dividirse en moldaje (Act. 1.3.1), enfierradura (Act. 1.3.2.) y hormigón (Act. 1.3.3.), las cuales luego pueden segmentarse en sectores (Serpell & Alarcón, 2002). La subdivisión debe ser tal que permita la correcta asignación de Paquetes de Trabajo, los cuales puedan ser analizados de forma independiente para la identificación de responsables de ejecución, asignación de recursos para la ejecución en un determinado momento e identificación de restricciones para su ejecución (Ballard, 2000b). De ésta manera, las actividades madre serán traspasadas a una carta Gantt que contenga la especificación de sus paquetes de trabajo, como representa la Ilustración 10.

Tradicionalmente, la planificación se centra en lo que DEBE hacerse, definido por un Plan Maestro estático. Esto causa que se destinen recursos y esfuerzo a tratar de cumplir programas compuestos por actividades que no tienen todas las condiciones necesarias para su ejecución, es decir, que se produzca una brecha entre lo que PUEDE y DEBE hacerse (Letelier, 2013). En consecuencia, los planes de lo que SE HARÁ no se cumplen, ya que están supeditados a lo que PUEDE hacerse según las condiciones de terreno (Ballard, 1994).

En el sistema Last Planner, en vez de programarse lo que SE HARÁ directamente sobre el Plan Maestro, se identifica primero una sección intermedia llamada Plan de *Lookahead*, que representa lo que PUEDE hacerse. Luego, los planes de trabajo se desarrollan considerando exclusivamente lo que PUEDE hacerse. El efecto de planificación de tiro, o Pull, se produce dado que se traen al presente actividades del horizonte de *Lookahead* que PUEDEN realizarse, para transformarse en lo que SE HARÁ (Lagos, 2017).

En términos prácticos, lo anterior implica tomar una sección intermedia del Plan Maestro, de un horizonte similar a un mes, llamada *Lookahead* y analizarla para detectar actividades libres de impedimentos (Inventario de Trabajo Ejecutable – ITE) y actividades restringidas. Las actividades del ITE se programan para las semanas más próximas de acuerdo con los objetivos del Plan Maestro, convirtiéndose en un Plan de Corto Plazo (PCP). Por otro lado, se identifican y programan Restricciones para las tareas que no pueden ser ejecutadas, cuya liberación se compromete dentro del horizonte del *Lookahead*, permitiendo que éstas estén disponibles para ser ejecutadas dentro del mediano plazo (Ballard, 2000b). La Ilustración 11 muestra un comparativo esquemático entre la planificación tradicional y *Last Planner*.

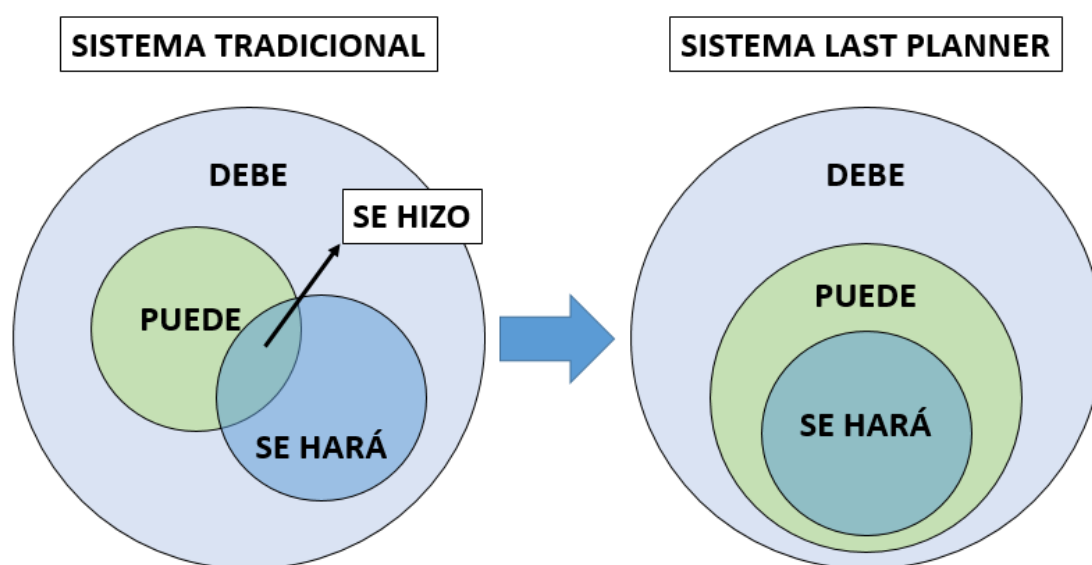


Ilustración 11. Comparación esquemática entre sistema tradicional de planificación y LPS.

Estos ciclos semanales de revisión del mediano plazo, preparación del trabajo y generación de planes de corto plazo factibles evita que ocurran dos de las problemáticas más comunes del sistema tradicional: Que se destinen recursos a la ejecución de actividades infactibles; y que no se programen actividades factibles en el corto plazo (Lagos, 2017).

La programación en el corto plazo de actividades pertenecientes exclusivamente al ITE y la generación de planes de liberación de restricciones para preparar el Plan de Lookahead permiten estabilizar los flujos de trabajo y reducir su variabilidad, lo que se traduce en una mejora de la producción (Ballard & Howell, 2003). A continuación la Ilustración 12 esquematiza este proceso.

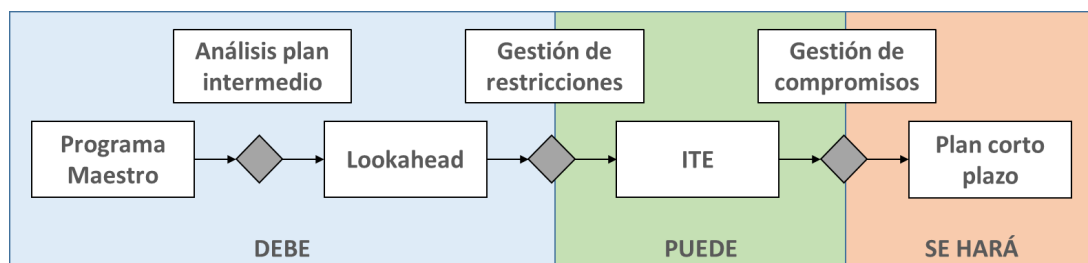


Ilustración 12. Esquema proceso LPS

Un segundo factor clave de LPS es que la programación de la ejecución de actividades y liberación de restricciones no es impuesta, sino que se elabora en base a compromisos de ejecución, llevados a cabo por los responsables directos de cada actividad. Estos responsables, llamados Últimos Planificadores son el personal a cargo de las decisiones inmediatas de disposición de recursos y ejecución de las actividades (López, 2013).

Los compromisos de ejecución son representados en una Carta Gantt semanal llamada Plan de Corto Plazo. La Ilustración 13 presenta un ejemplo del PCP, en el cual se identifican claramente compromisos, responsables y programación de actividades. El PCP contiene dos secciones destinadas a la evaluación semanal del cumplimiento de dichos compromisos: La primera, para el registro del avance logrado, y la segunda, para el registro y clasificación de las razones del incumplimiento, llamadas Causas de no Cumplimiento (CNCs) (Letelier, 2013).

Cod. Tarea	Actividad	Responsable	Gestión de Compromisos (Porcentaje)		Cumplimiento	PCP							CNC								
			Compromiso	Avance real		J	V	S	D	L	M	Mi	Mala Programación	Falta de Capacidad	Inadecuación de Recursos	Materiales	Mano de Obra	Equipos	Mala Ejecución	Sobre costo	Otras
1	HUB1			3%																	
1.1	Obra Gruesa Subterráneos			5%																	
1.1.3	Obra Gruesa			7%																	
1.1.3.1	Nivel -3			15%																	
1.1.3.1.1	Fundaciones			20%																	
1.1.3.1.1.1	Excavación Fundaciones			50%																	
1.1.3.1.1.1.2	Zona 2	Félix Palma	100%	100%																	
1.1.3.1.1.1.3	Zona 3	Félix Palma	50%	0%	0											X					
1.1.3.1.1.2	Emplantiado																				
1.1.3.1.1.2.2	Zona 2	Félix Palma	100%	100%	1																
1.1.3.1.1.2.3	Zona 3	Félix Palma	10	0%	0												X				
1.1.3.1.1.3	Enfieradura																				
1.1.3.1.1.3.1	Zona 1	Alejandro Martinez	100%	100%	1																
1.1.3.1.1.3.2	Zona 2	Alejandro Martinez	50%	50%	1																
1.1.3.1.1.4	Hormigón																				
1.1.3.1.1.4.1	Zona 1	Félix Palma	50%	100%	1																
1.1.3.1.1.4.1	Zona 1'	Félix Palma	100%	100%	1																
1.1.3.1.1.4.2	Zona 2	Félix Palma	50%	50%	1																
1.1.3.1.3	Muros y Pilares -3																				
1.1.3.1.3.1	Enfieradura																				
1.1.3.1.3.1.1	Zona 1	Alejandro Martinez	90%	90%	1																
1.1.3.1.3.1.2	Zona 2	Alejandro Martinez	20%	30%	1																
1.1.3.1.3.2	Moldaje																				
1.1.3.1.3.2.1	Zona 1	Félix Palma	40%	50%	1																
1.1.3.1.3.2.2	Zona 2	Félix Palma	30%	25%	0													X			
1.1.3.1.3.3	Hormigón																				
1.1.3.1.3.3.1	Zona 1	Félix Palma	40%	50%	1																
1.1.3.1.3.3.2	Zona 2	Félix Palma	30%	23%	0														X		
1.1.3.1.4	Radier																				
1.1.3.1.4.2	Agua Uruvias																				
1.1.3.1.4.2.1	Excavación Cámaras Zona 2	Félix Palma	50%	0%	0											X					


Ilustración 15. Plan de Corto Plazo

El PPC guarda 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).

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).

Existen 5 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):

- a) Índice de Desempeño de Programa (IDP o SPI): Éste 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).

- 
- b) Porcentaje del Trabajo Completado (PTC o PWC): Éste 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).
- c) Porcentaje de cumplimiento de restricciones (PCR): Éste 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).
- d) Tareas anticipadas (*Tasks Anticipated* o TA): Éste 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).
- e) Tareas preparadas; (*Tasks Made Ready* o TMR_i): Éste 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).



CAPÍTULO 2: FASE DE DISEÑO

El diseño de proyectos de infraestructura hospitalaria representa uno de los escenarios más complejos debido a la alta 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 lo que los equipos de diseño pueden tener un gran impacto en el hecho de que se emplee o no prefabricación en un proyecto. (O'Connor, J. T., O'Brien, W. J., & Choi, J. O. 2014)⁴.

En las prácticas actuales, los procesos industrializados de construcción, fabricación y ensamblaje generalmente intervienen una vez finalizado el proceso de diseño (Walch, 2001)⁵ lo que no permite sacar el máximo potencial. Muchas veces tomar la decisión de implementar sistemas industrializados de forma tardía, implica intervenir diseño u obras ya ejecutadas, por lo que su uso no es factible o no resulta eficiente.

En este sentido una de las principales consideraciones en la etapa de diseño es la aplicación del pensamiento sistémico desde una fase temprana del proceso de diseño. (D. Gann & Senker, 1993)⁶. Este enfoque permitirá diseñar soluciones industrializadas con formas variadas, flexibles y eficientes, sin comprometer la intención de la idea arquitectónica.

2.1. Diseño Arquitectónico

El diseño de un proyecto hospitalario de alta complejidad representa un esfuerzo y un trabajo importante, multidisciplinario y demorado. 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)⁷


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

⁴ 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).

⁵ Walch, Karin, D.I., 2001. Industrial prefabrication: Buildings mass-produced or made to measure. Paper Presented at 6th E3 Building Workshop, Vienna.

⁶ Gann, D., & Senker, P. (1993). International trends in construction technologies and the future of housebuilding. *Futures*, 25(1), 53–65. [https://doi.org/10.1016/0016-3287\(93\)90117-C](https://doi.org/10.1016/0016-3287(93)90117-C)

⁷ Ministerio de Salud, G. de C. (2017). Orientaciones Técnicas Para Diseño de Anteproyectos de Hospitales Complejos.



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)⁸.

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).⁹

Según el *Smart Report Prefabrication and Modularization: Increasing Productivity in the Construction Industry* (McGraw Hill Construction, 2011)¹⁰ 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. 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.

2.1.1. 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 ortogonales, aunque no necesariamente. Los sistemas estructurales se colocan a menudo en una rejilla axial (Ilustración 16.A) , mientras que los paneles y módulos se desarrollan en una rejilla modular (Ilustración 16.B).

⁸ Ministerio de Salud, G. de C. (2017). Orientaciones Técnicas Para Diseño de Anteproyectos de Hospitales Complejos.

⁹ 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/ASCE0733-9364\(2008\)134:7517](https://doi.org/10.1061/ASCE0733-9364(2008)134:7517)

¹⁰ McGraw Hill Construction. (2011). *Prefabrication and Modularization: increasing productivity in the construction industry. Building.*

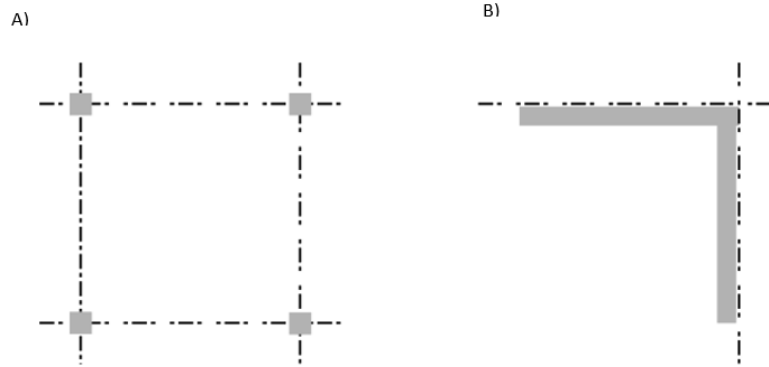


Ilustración 16 Rejillas para modularización

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)¹¹

2.1.2. Modularización


Cuando se ha optado por utilizar el sistema de módulos prefabricados, se debe tener en cuenta que el diseño del módulo debe llevarse a cabo en conjunto con el diseño del proyecto, esto debe hacerse tan pronto como sea posible, incluso en la etapa de planificación. La participación temprana de los proveedores e ingenieros de especialidades será beneficioso para el proyecto. La modularización depende en gran medida de la configuración, los tamaños y las dimensiones, pesos de los módulos o componentes, de la facilidad de transporte y tipos y usos de módulos.

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 debe tener en cuenta la transportabilidad de los 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.

¹¹ Smith, R. E. (2011). *Prefab Architecture: A Guide to Modular Design and Construction*. John Wiley & Sons, Inc. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>





Singh, Sawhney, & Borrmann, (2015)¹² 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.

2.1.3. Estandarización

El equipo diseñador, debe estar consciente que la utilización de una metodología de construcción modular puede aumentar el riesgo de que se ponga un énfasis excesivo en la normalización de los módulos, debido a los obvios argumentos económicos. Por lo tanto, se debe tener especial cuidado en que la metodología no se limite indebidamente otros aspectos del diseño incurriendo en desajustes dimensionales con la estructura tanto física como organizativa que acoge al módulo.

En conclusión, el equipo diseñador debe cuidar que la aplicación de este enfoque modular no afecte la expresión arquitectónica y la calidad de la arquitectura.

2.1.4. Coordinación Temprana

Coordinación temprana entre Mandante, Arquitecto, Ingeniero Estructural e Ingenieros MEP, Constructor 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 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.

2.1.5. Dimensionamiento en Planta

En general las consideraciones a tomar en el diseño de la planta de un módulo 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.

¹² 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>

- 
- Asegurar que la dimensión en planta considera cómo se ingresará el módulo o componente a la obra en construcción.
 - Asegurar que el diseño ha considerado el *layout* donde será insertado o cómo éste afectará 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 unirá el módulo con el resto de la estructura.

2.1.6. Dimensionamiento de la Sección

Las consideraciones a tomar en cuenta en relación a la sección en el diseño de un módulo o componente tienen 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.

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.

2.1.7. 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 y entre módulos y la estructura.

- 
- Considerar los detalles de la unión entre los módulos o componentes y la construcción in situ.
 - Considerar y permitir tolerancias constructivas en las entre las juntas horizontales y verticales de los módulos y la parte in-situ.

2.2. Diseño Estructural de los módulos o componentes

El peso de los componentes y módulos 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 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 es inevitable, por lo tanto, se recomienda especificar materiales que tengan un comportamiento acorde a los esfuerzos durante la construcción a los que podría ser sometido el módulo.

2.3. Diseño de Especialidades

Una de las principales consideraciones que se deben tener al momento de diseñar un módulo o componente prefabricado es determinar la ubicación y el trazado de las instalaciones dentro de los módulos 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 y componentes 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 y módulos puedan ejecutarse correctamente durante la fabricación y conectarse sin contratiempos en el posterior montaje in-situ.

Según Lu & Korman (2009)¹³, 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.

2.3.1. 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
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

¹³ 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)



2.4. 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)¹⁴

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)¹⁵

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)¹⁶


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

¹⁴ 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)

¹⁵ The Building and Construction Authority. (2016). BIM for DfMA (Design for Manufacturing and Assembly) Essential Guide.

¹⁶ The Building and Construction Authority. (2016). BIM for DfMA (Design for Manufacturing and Assembly) Essential Guide.




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.

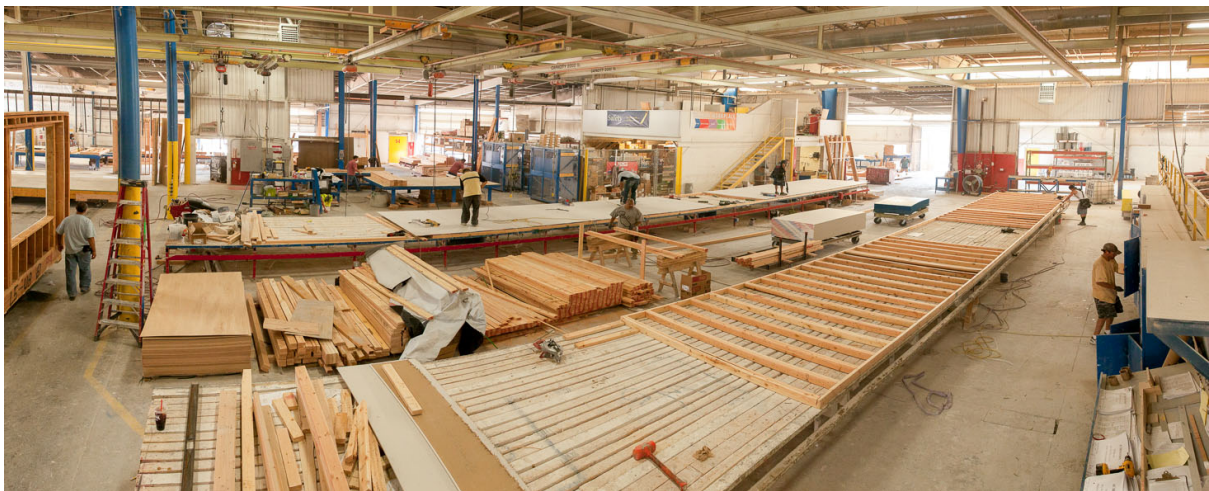
A lo largo de **la etapa de diseño de detalle**, los modelos pueden ser desarrollados con niveles crecientes de desarrollo en términos de geometría y datos. A medida que se comprenden mejor los componentes, es posible una mayor validación del diseño detallado en comparación con el diseño conceptual mejorando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



CAPÍTULO 3: FASE DE FABRICACIÓN

En el instante que se decide industrializar una partida y, por ende, aspirar a entregar una mejora productiva a ésta y al proyecto global, aparecen nuevas etapas por el hecho de optar de tener la construcción fuera de obra. Una de estas nuevas fases o etapas es la de Fabricación, la cual reemplaza en gran parte a la fase de construcción en obra de la solución tradicional. Esta nueva fase resulta ser fundamental para el grado de industrialización que tenga la partida o el proyecto en particular, ya que la lógica de manufactura pasa ahora a ser en línea, consiguiendo así nuevas oportunidades de mejora en términos de productividad.





El DfMA tiene el objetivo de diseñar para que el elemento o componente industrializado a esta altura tenga una fabricación más sencilla y barata mediante metodologías que minimicen el uso de las capacidades del hombre, tales como:

- Simetría en Componentes
- Ordenamiento de Piezas
- Paletización de Elementos
- Cadena de Montajes integrada.

3.1. Requerimientos para fabricación

Para fabricación se recomienda considerar tres normativas internacionales que abarcan las dimensiones de calidad constructiva, seguridad y cuidado del medio ambiente. A continuación, se resume cada una de ellas:


- ISO 9001 - Normativa de Calidad: Requisitos para tener un Sistema de Gestión de Calidad que el fabricante debe emplear para mejorar calidad de los elementos o componentes industrializados que se construyen en fábrica (fuera de obra).
- OHSAS 18001 - Normativa para Seguridad y Salud: Requisitos para tener un Sistema de Gestión en Seguridad y Salud Ocupacional, en donde se establecen consideraciones para cuidar la integridad física de los trabajadores que trabajen en fábrica.
- ISO 14001- Normativa para Medio Ambiente: Requisitos para tener un Sistema de Gestión Ambiental, en donde se identifican los riesgos ambientales, para luego poder gestionarlos.

3.2. Consideraciones para Fabricación

El fabricante debe tener las siguientes consideraciones para un buen funcionamiento de la etapa (Monash University, 2017)¹⁷:

- Asegurarse de tener todos los materiales previos al armado o fabricación de los módulos, elementos o componentes industrializados.
- Asegurarse de cumplir con todos los requerimientos surgidos desde la etapa de diseño.
- Todos aquellos componentes o materiales que están bajo una regulación o normativa específica deben cumplir con los requisitos de rendimiento según los códigos, normas o especificaciones entregadas por contrato.

¹⁷ Monash University. (2017). Handbook for the Design of Modular Structures.

- 
- Los servicios instalados para la fase de fabricación deben cumplir con los códigos y estándares relevantes para la jurisdicción en la que los elementos o componentes industrializados verán su aplicación final.
 - Se deben implementar procedimientos de inspección documentados para así garantizar que todo el capital humano cumpla con las especificaciones de diseño y aquellos que son dados por los códigos y normativa correspondiente.

Dado el trabajo colaborativo recomendado entre el diseñador y el fabricante (en su integración temprana a la fase de diseño), estos deben asegurar que cuentan con las capacidades de manufactura que poseen para proyectar la producción. Para aquello se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones (Monash University, 2017)¹⁸:

- El diseño debe minimizar la cantidad de trabajo de detalle o de secciones especiales para después de la fase de fabricación. Esto tiene el objetivo de fabricar la mayor cantidad posible de elementos y componentes industrializados que sea un producto *Off-the-shelf*, o sea que esté listo para ser utilizado. Esto conlleva a reducción de costos del proyecto.
- La planta de fabricación debe contar con todos los servicios y herramientas para realizar la manufactura del elemento o componente industrializado o viceversa.
- En caso de que se requiera de algún proceso extra de fabricación, el diseñador debe trabajar con el fabricante para crearlo. La idea es que este nuevo proceso sea eficiente, que pueda utilizar las instalaciones disponibles y que cumpla con los requisitos de diseño.

3.3. Trabajos Previos

Con el propósito de minimizar los defectos por variabilidad dimensional de los elementos o componentes industrializados, además de simplificar la fabricación de productos iguales, se recomienda trabajar utilizando moldes (Boothroyd et al, 2011)¹⁹. Existe gran variedad de moldes o plantillas que ayudan a ubicar las piezas para facilitar las conexiones y fijaciones, sirven para generar productos o subproductos de forma expedita y constante, convirtiéndose, de esta forma, en una herramienta muy útil para trabajar en la estandarización del trabajo.

Esto conlleva a que se deba integrar durante la fase de diseño la solicitud de plantillas o moldes para la fabricación de los mismos elementos o componentes que están siendo diseñados en esa fase. Para que, previo al inicio del funcionamiento de la fase de fabricación, estos moldes ya estén confeccionados, probados y listos para su operación, cumpliendo a su vez todos los requerimientos

¹⁸ Monash University. (2017). Handbook for the Design of Modular Structures.

¹⁹ Boothroyd, G; Dewhurst, P; Knight, W.A. (2011). Product Design for Manufacture and Assembly.

de diseño. El proceso para crear un molde es el siguiente (The Building and Construction Authority, 2014)²⁰:



Ilustración 17. Proceso fabricación moldes (Elaboración Propia)

Existen los moldes tipo plantilla, los cuales son diseñados y fabricados con el objetivo de resistir la energía extra ocasionada por el trabajo de soldadura al momento de fijar elementos o partes cuando se trabaja con material metálico. Estas plantillas apoyan la fabricación de estructuras metálicas 2D y 3D. Los tipos de plantillas que se deben usar varían de proyecto a proyecto.

3.4. Proceso Constructivo

Existen diversas metodologías constructivas, las cuales llevan a una diversidad de procesos constructivos aún más amplios. A eso se le debe agregar la diversidad de tipologías de elementos de esta índole. Es por eso que se entregan, a continuación, los pasos generales que se deben considerar al momento de diseñar el proceso constructivo de algún elemento en particular, dejando en claro que los cuadros con línea continua son comunes, los de líneas discontinuas dependen del diseño y los círculos son hitos (The Building and Construction Authority, 2014)²¹:

²⁰ The Building and Construction Authority. (2016). Design por Manufacturing and Assembly – Prefabricated Prefinished Volumetric Construction Guidebook.

²¹ The Building and Construction Authority. (2016). Design por Manufacturing and Assembly – Prefabricated Prefinished Volumetric Construction Guidebook.

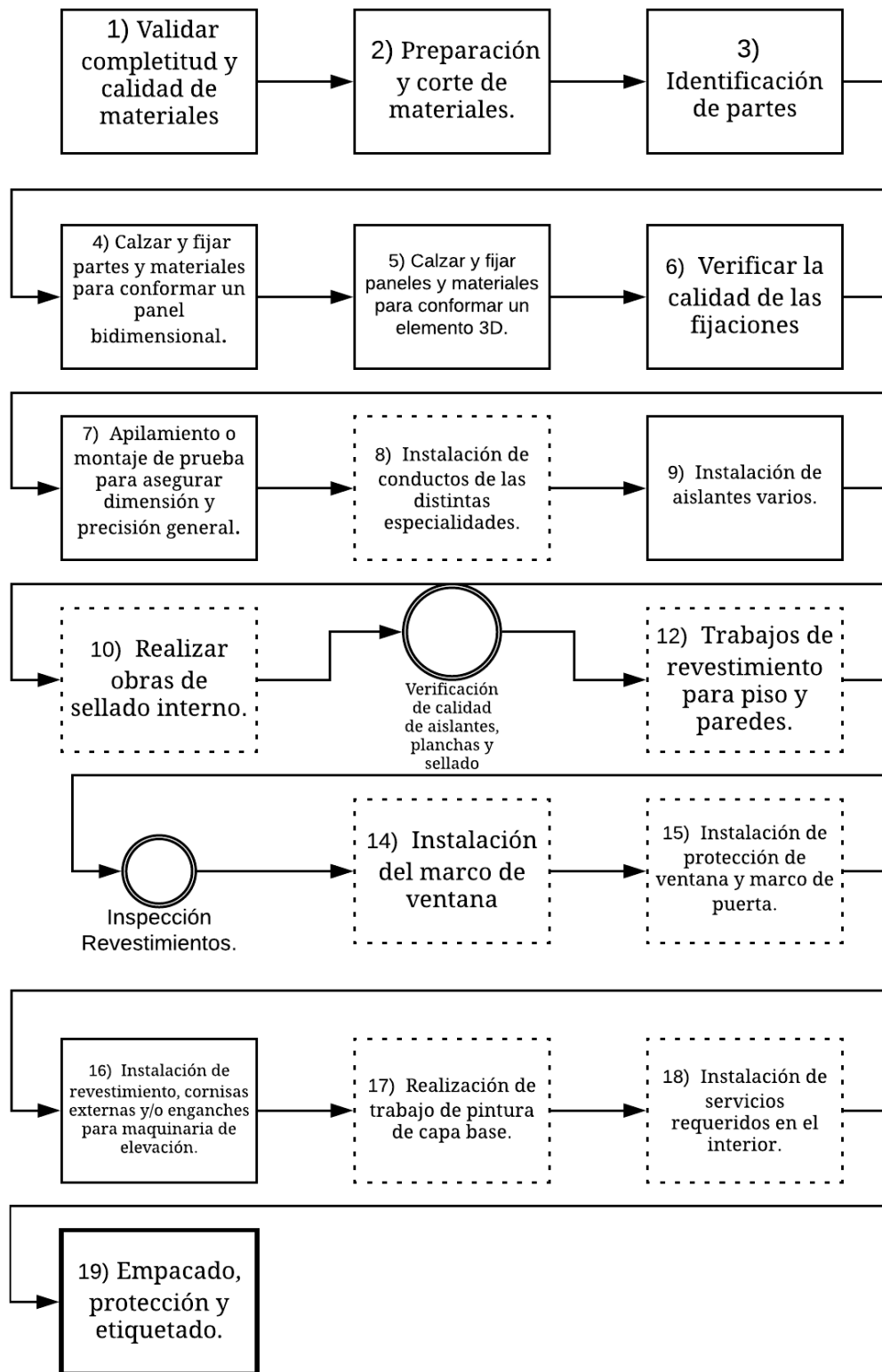


Ilustración 18. Proceso de Fabricación de Elementos o Componentes Industrializados. (Elaboración Propia)



3.5. Sistemas de Control

Álvarez Brotons (2004)²² define al Sistema de Control como “un tipo de sistema que tiene la finalidad de conseguir, mediante la manipulación de las variables de control, un dominio sobre las variables de salida, de modo que estas alcancen unos valores prefijados”. El objetivo debe ser cumplido por un sistema de control cumpliendo los siguientes requisitos (Álvarez Brotons, 2004):

- Garantizar la estabilidad y, particularmente, ser robusto frente a perturbaciones y errores en los modelos.
- Ser tan eficiente como sea posible, según criterio preestablecido. Normalmente este criterio consiste en que la acción de control sobre las variables de entrada sea realizable, evitando comportamientos bruscos e irreales.
- Ser fácilmente implementable y cómodo de operar en tiempo real con ayuda de un ordenador.

Una metodología que apoya el cumplimiento de los requisitos previamente planteados es el JIT (Just in time o justo a tiempo en español). La producción que emplea la filosofía de producción JIT considera sistemas simples de control, ya que trabaja la producción en lotes pequeños (Mula et al., 2006)²³ y utilizan el Kanban como herramienta, el cual es un sistema de información que define y controla qué se fabrica, cuándo se fabrica y cuánto se debe fabricar en base a la demanda mediante el empleo de tarjetas físicas (Raymond, 2006)²⁴. El objetivo de esta herramienta es minimizar el trabajo en progreso (o Work In Progress, WIP). Aquellos principios que se promueven para esta metodología son los siguientes (Mitra et al., 1990)²⁵:

1. Calidad perfecta desde un principio, o sea que se debe intentar hacer excelente más que rápido.
2. Minimización de pérdida, logrado en el enfoque hacia la realización de lo justo y necesario.
3. Mejora continua de los procesos según los objetivos a lograr y alcanzar.
4. Flexibilidad de tareas según cambio de prioridades a lo largo de la producción.

²² Álvarez Brotons, X (2004). Control Predictivo de Canales de Riego utilizando modelos de predicción tipo Muskingum y de tipo Hayami.

²³ Mula, Josefa , Poler, Raúl , & García, José P. (2006). Evaluación de Sistemas para la Planificación y Control de la Producción/[title] [title language=en]Evaluation of Production Planning and Control Systems. *Información tecnológica*, 17(1), 19-34. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642006000100004>

²⁴ Raymond S. “Custom Kanban: Designing the System to Meet the Needs of Your Environment”. Productivity Press; 1 edition. 2006.

²⁵ Mitra, D. y Mitrani. I. “Analysis of a Kanban discipline for cell coordination in production lines”. I, *Management Science* 36, 1548-1566. 1990.

5. Construcción y mantenimiento de una relación a largo plazo con proveedores.

Además, la metodología Kanban cuenta con 6 reglas que orientan la estructura del tablero que recibe las tarjetas antes mencionadas (Arango et al., 2015)²⁶:

- No se debe mandar productos defectuosos a los procesos subsecuentes.
- Los procesos subsecuentes requerirán solo lo que es necesario.
- Se debe producir sólo la cantidad exacta requerida por el proceso subsecuente.
- Se debe balancear la producción.
- Se deben evitar especulaciones respecto a las cantidades a producir.
- Se debe estabilizar y racionalizar el proceso.

3.6. Empaque, protección y etiquetado

Como última parte de la fase de fabricación, tiene que ver con la identificación de los elementos o componentes industrializados fabricados fuera de obra, para poder diferenciarlos de otros similares, identificar la ubicación exacta de la obra exacta, de la partida exacta y con ello programar el momento exacto en el que debe ser transportado a obra para su montaje. Algunas consideraciones que debe tener en cuenta el fabricante son las siguientes (The Building and Construction Authority, 2014)²⁷:

- El empaque de un elemento o componente industrializado que ya se encuentre totalmente fabricado debe ser controlado e inspeccionado según requerimientos por contrato.
- La protección necesaria debe proporcionarse según los requerimientos de transporte, manipulación, elevación y recepción en obra para evitar daños, deformaciones o deterioros del elemento o componente industrializado.
- Se debe proporcionar un etiquetado para todos los elementos y componentes industrializados con el objetivo de entregarles una identificación. Existen posibilidades de entregar etiquetados con información geográfica para poder realizar estados de entrega al fabricante. Una buena forma de identificación rápida es a través de la codificación uniforme, la cual consiste en una combinación sencilla y estándar de caracteres para identificar y diferenciar un elemento de otro con información completa.

²⁶ Arango, Martín; Campuzano, Luis & Zapata, Julián. (2015). Mejoramiento de Procesos de Manufactura utilizando Kanban. Revista Ingenierías Universidad de Medellín.

²⁷ The Building and Construction Authority. (2016). Design por Manufacturing and Assembly – Prefabricated Prefinished Volumetric Construction Guidebook.



CAPÍTULO 4: FASE LOGÍSTICA

Dado que la alta calidad y plazos comprometidos en la recepción final de elementos y componentes industrializados son una preocupación latente, es que se considera también una fase que, si bien no agrega valor al producto final, sí contribuye a que éste lo tenga. Esta fase está considerada desde que el elemento o componente se fabricó, pasando desde el movimiento y almacenaje, la carga y descarga sobre el medio de transporte, el trayecto, para terminar con el acceso a obra y su almacenaje previo a ser alzado para montaje.

Para lograr que esta etapa contribuya al ritmo deseado a la producción global se deben realizar las siguientes acciones:

- Preparar un plan detallado del transporte de principio a fin. Este plan puede considerar también restricciones y precauciones notificadas desde la etapa de diseño.
- Tener tiempos de entrega ajustados según el programa de la obra, con tal de no acumular inventario.
- Gestionar el almacenaje en obra.
- Optimizar el uso de la o las grúas.
- Minimizar el izaje y la manipulación de los elementos y componentes industrializados.



4.1 Plan de Transporte

Las condicionalidades de los elementos a transportar tienen que ver con aspectos intrínsecos y extrínsecos, los cuales se dividen entre cada uno de los espacios en los que se encontrará el elemento desde su fabricación en planta hasta el montaje en obra.

En los aspectos intrínsecos se deben considerar el volumen, dimensiones y peso del elemento, ya que serán estos factores las principales restricciones de la capacidad que tenga el proveedor a cargo de la función de transporte. Mientras que, dentro de los aspectos extrínsecos, se deben considerar aspectos tales como las condiciones climáticas y topográficas de cada uno de los lugares por donde pasará.

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.
- e) Creación de una lista resumen: en la que se resuman todos los aspectos identificados como el ejemplo que aparece en la Tabla 14. 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 14. Ejemplo de lista de operaciones logísticas.

Operación	Origen	Destino	Maquinaria
Carga	Punto Fabricación	Punto Fabricación	Grúa Horquilla
Traslado	Punto Fabricación	Planta de Almacenaje	Grúa Horquilla
Descarga	Planta de Almacenaje	Planta de Almacenaje	Grúa Horquilla
Carga	Planta de Almacenaje	Planta de Almacenaje	Grúa Horquilla
Traslado	Planta de Almacenaje	En camión	Grúa Horquilla
Descarga	En camión	En camión	Grúa Horquilla
Traslado	En camión	Obra	Camión
Carga	Obra	Obra	Grúa Horquilla
Descarga	Obra	Obra	Grúa Horquilla

Carga	Obra	Obra	Grúa Torre
Traslado	Obra	Punto de Montaje	Grúa Torre
Descarga	Punto de Montaje	Punto de Montaje	Grúa Torre

En el ejemplo anterior se identificaron cinco puntos e instalaciones, tres tipos de maquinaria y sus operaciones necesarias. A continuación, se seguirá con la explicación de consideraciones a tener en cuenta para las operaciones e instalaciones básicas para permitir el transporte.

4.1.2. Transporte en Camión

La normativa actual²⁸ exige que, para que no haya que acudir a la escolta policial, 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 siguiente se indican dónde se miden las dimensiones de carga (The Building and Construction Authority, 2014)²⁹:

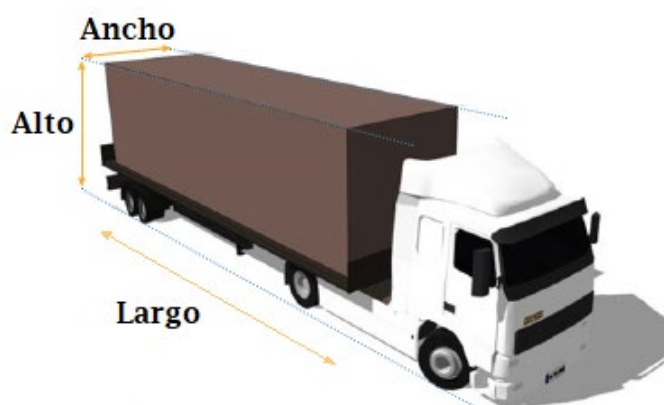



Ilustración 19. Dimensiones de carga del camión.

Para poder trasladar desde la planta de almacenamiento hacia el camión se recomienda utilizar una grúa horquilla que tenga una capacidad máxima de 2000 kg, utilizando un pallet como plataforma de transporte. El mismo equipamiento es recomendable para descargar el camión en obra. Respecto a las condiciones del camión, se recomienda lo siguiente:

²⁸ Norma "Establece Dimensiones Máximas a Vehículos que Indica" de la Ley N° 18.290.

²⁹ The Building and Construction Authority. (2016). Design por Manufacturing and Assembly – Prefabricated Prefinished Volumetric Construction Guidebook.

- 
- 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 tabique con tabique utilizar planchas de poliestireno expandido que cubran al menos el 60% de la superficie del tabique.

4.1.3. 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 distinta a la de carretera.
- Carga máxima distinta a la de carretera.
- Viraje mínimo.
- Ancho de calle mínimo necesario.
- Calles específicas con restricciones (horarias y permanentes).

4.2 Ubicación del proyecto y 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 aspectos (Comisión SSO CChC Concepción, 2016)³⁰:

³⁰ Seguridad y Salud Ocupacional Comisión SSO CChC Concepción (2016). MANUAL INICIO DE OBRA CONSTRUCCIÓN.

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 de espalda.



Fuente: <https://www.laopiniondemercia.es/>

Evitar el estacionamiento de vehículos en los alrededores, especialmente en el perímetro alrededor del acceso de los camiones, para evitar atrasos en la entrega de los elementos y componentes venidos desde fábrica.



Fuente: <https://cipollettigital.com.ar/>

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



Fuente: <http://www.soychile.cl>

Asegurarse de 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). Esto para asegurar que la carga no se vea dañada por saltos bruscos del camión.



Fuente: <http://www.vialidad.gov.ar/>

Ilustración 20. Aspectos de ubicación y áreas adyacentes.

4.3 Gestión de Tránsito para cargas muy pesadas

En caso de 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)³¹ 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.

³¹ Carabineros de Chile (2016) Circular 1801 para control de cargas de transporte.

- Se recomienda tener en cuenta el costo extra (teniendo en cuenta 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.

4.4 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. A pesar de que se busca inalterabilidad, se deben considerar los pesos y tamaños máximos del elemento o componentes industrializados en la planificación de obra para ver si es que se necesita maquinaria de mayores capacidades. Algunos tipos de grúas para elevación se describen en siguiente tabla (The Building and Construction Authority, 2014)³²:

Tabla 15. 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

4.5. Consideraciones para almacenamiento

La planta de fabricación de los módulos requerirá de la habilitación de un patio de producción y otro de almacenamiento. Estos deben considerar ciertos aspectos para la manejabilidad y cuidado de los elementos, componentes o módulos industrializados.

4.5.1. La fábrica

La planta de fabricación requiere de la habilitación de un patio de producción y otro de almacenamiento. Estos deben considerar ciertos aspectos para la manejabilidad y cuidado de los

³² The Building and Construction Authority. (2016). Design por Manufacturing and Assembly – Prefabricated Prefinished Volumetric Construction Guidebook.

elementos, además de recomendaciones para aumentar su grado de utilización productiva. Respecto al patio de producción, este se puede utilizar de dos formas para la distribución en planta: La distribución especializada y la funcional.

4.5.1.1. Distribución Especializada

Ésta es la que divide los espacio por cada uno de los elementos o partes del módulo. Esto requiere que cada espacio se especialice en la fabricación de un elemento en particular y cuya producción termine en el mismo sitio, sin requerir de traslados hacia otros espacios. Según esta distribución, desde la materia prima hasta el producto final este se mantiene fijo en el mismo lugar.

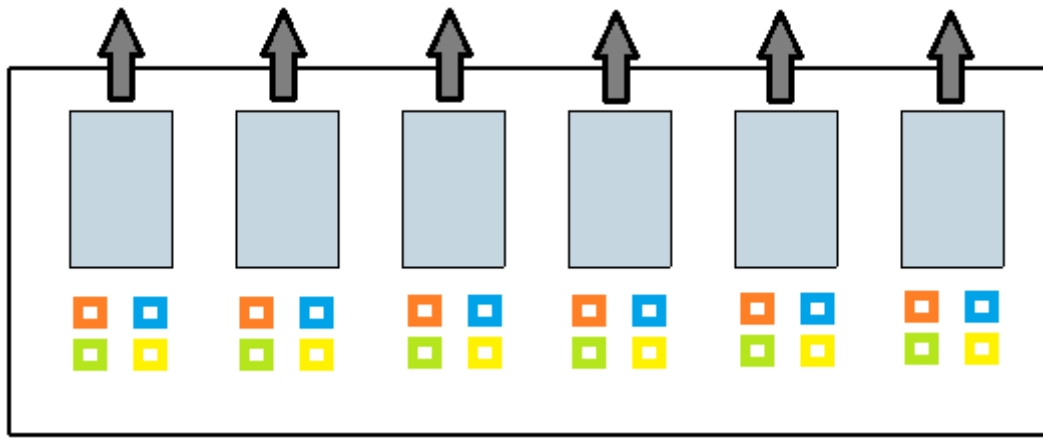


Ilustración 21. Esquema Distribución Especializada

4.5.1.2. Distribución Funcional

Ésta es la que divide los espacios por actividad productiva y no por elemento, esto quiere decir que funciona como una línea de producción. En cada espacio debe haber una actividad específica (por ejemplo, zona de pintura, zona de ensamblaje, zona de terminaciones, entre otros). A diferencia de la distribución especializada, es el producto el que se va moviendo a lo largo de la línea de producción.

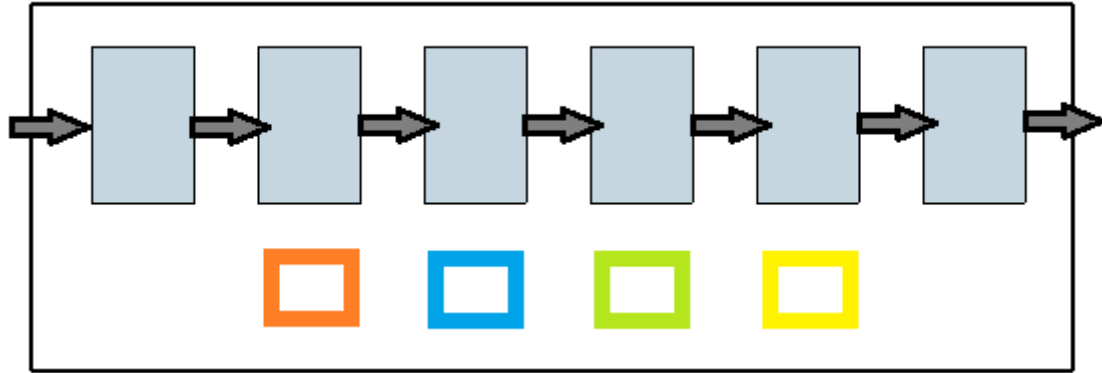


Ilustración 22. Esquema Distribución Funcional

Algunas recomendaciones respecto a las condiciones de la planta de almacenaje se detallan a continuación:

- Poseer escasa exposición al exterior, para evitar que los pods o tabiques sean afectados por condiciones climáticas, del sol y de los cambios de temperatura. De preferencia un lugar techado y cerrado.
- Poseer una superficie de almacenamiento plana, limpia y libre de objetos que puedan dañar o deformar los elementos alojados.
- 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 (en el ideal, el almacén o bodega no debiese existir).
- Apuntar a disminuir los traslados en el diseño de la distribución de planta.

Respecto a la utilización de la planta de fabricación, se proponen las siguientes consideraciones:

- Utilización máxima de la superficie de distribución de la planta: un indicador que pueda ayudar en esta mensuración es la tasa de producción interna por m², o sea el número de actividades productivas.
- Minimización de los gastos de fábrica por la correcta asignación de personal a las actividades productivas. La distribución especializada permite que un profesional pueda desplazarse entre distintos elementos para realizar su tarea específica. Mientras que la distribución funcional exige que el personal esté fijo en su espacio de producción.
- Minimización en el uso de materiales, por ejemplo, en los cortes, pero también se podría apuntar al uso compartido de materiales, lo que no se usa en un módulo puede ser utilizado en otros, lo cual es más fácil de aplicar con materiales continuos.

- Minimización de pérdidas de trabajo, debido al retrabajo realizado por correcciones de inconformidades y al sobre trabajo, por el hecho de estar haciendo actividades que, por disposición de materiales y diseño, podrían haberse evitado (por ejemplo, corte excesivo de planchas, debido a una mala distribución de estos en el muro).
- Estandarización de partes, en la medida en que las partes son más estandarizadas, las actividades son menos diversificadas y, por ende, más especializadas. Esto no significa que no se pueda tener un área de exclusiva customización de los elementos para diferenciarlos por proyecto.

4.7 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. Es por eso que es importante identificar los aspectos más relevantes a considerar 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 siguiente tabla se presentan los factores de riesgo por condiciones de carga, de manipulación de carga y del lugar de trabajo (Mutual de Seguridad, 2006)³³:





Tabla 16. 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 pesadas 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, 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.

³³ Mutual de Seguridad (2006) Material para el control de Riesgos Ergonómicos Asociados al Manejo Manual de Cargas

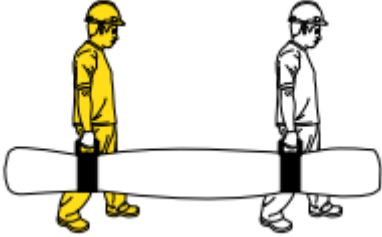
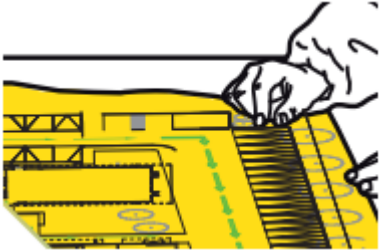

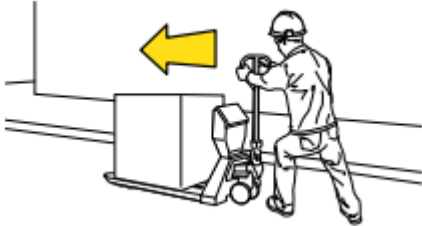
Aun cuando se busque maximizar el uso de tecnologías y maquinarias para manipular elementos, hay veces que la manipulación humana es inevitable, ya sea por condiciones espaciales o por restricción presupuestaria. Este tipo de manipulación, si no se realiza responsablemente, puede traer consigo diversos 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 presentan las siguientes medidas preventivas (Mutual de Seguridad, 2006)³⁴:

Tabla 17. Medidas preventivas para manipulación de cargas.

 <p>Hacer ejercicios de calentamiento antes de levantar elementos.</p>	 <p>Usar los artículos de seguridad indicados para el manejo manual de carga.</p>
 <p>Mantener ordenados los lugares de almacenamiento y zonas de traslado libres de obstáculos.</p>	 <ul style="list-style-type: none"> ● Mantenerse cerca de la carga y de frente al recorrido que se realizará. ● Adoptar posiciones estables para el conseguir balance de la carga. ● Asegurarse que la carga tenga una sujeción adecuada. <ul style="list-style-type: none"> ● Mantener brazos estirados. ● Tensar músculos abdominales. ● Presionar la barbilla al pecho.

³⁴ Mutual de Seguridad (2006) Material para el control de Riesgos Ergonómicos Asociados al Manejo Manual de Cargas




	<ul style="list-style-type: none">● Iniciar levantamiento utilizando piernas.● Levantar carga lentamente y lo más cercano al cuerpo posible.● Evitar girar e inclinarse hacia los costados cuando se esté realizando el esfuerzo.
 <p>Cuando deba realizar manejo manual de cargas de peso igual o mayor a 25 kilogramos, solicitar ayuda y/o utilizar elementos mecánicos.</p>	 <p>Verificar previamente el estado del circuito, prestar atención a obstáculos y cruces de vehículos.</p>
 <p>Utilizar accesorios o equipos para realizar carga o descarga en altura, en especial en caso de almacenar a una altura por sobre los hombros.</p>	 <p>Al utilizar elementos mecánicos, empujar en vez de tirar.</p>

4.8 Seguridad en la Fase Logística

El objetivo de esta sección es describir las consideraciones técnicas, regulatorias y normativas de los aspectos de seguridad en el proceso productivo de la construcción industrializada y, que correspondan a riesgos que no existen habitualmente en la construcción tradicional, los que corresponden, por lo general, al bajo conocimiento y experiencia en gestión y coordinación en construcción modular y la inclusión de nuevas actividades. Algunos de los focos de mejora en seguridad para reducir los riesgos son los siguientes (Monash University, 2017)³⁵:

³⁵ Monash University. (2017). Handbook for the Design of Modular Structures.



- 
- Reducciones de exposición en el trabajo en terreno, incluyendo el trabajo en altura.
 - Disminución del tiempo total del proyecto por inclusión de la industrialización como solución, haciendo que se reduzca la exposición a peligros de las áreas adyacentes a la obra.
 - Cambio de mano de obra desde la exposición en terreno a uno controlado fuera de obra, con posibilidad de control de clima, menor exposición al sol y mayor capacidad de inspección de seguridad.
 - Posibilidad de incluir apaciguadores de materiales tóxicos y así disminuir la exposición de la mano de obra.

4.8.1. 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: En este 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 (SUSESO): regula las obligaciones que tiene el empleador en la obra en caso de accidente grave o fatal.

4.8.2. Consideraciones del ambiente

Dentro de todo lo que se busca controlar, también existen factores ambientales que alteran el normal funcionamiento de las actividades logísticas, como los que se detallan a continuación:

- Cuando se esté al aire libre, es preferible esperar a que la velocidad del viento sea lo suficientemente baja para no exponer los componentes o elementos industrializados a deterioro y a dificultades en su manipulación. Considerar esto en el análisis de riesgo.
- Cuando se manipule bajo techo, es preferible realizar cargas y descargas con ambientes lo más herméticos posibles para evitar lo mismo que en el punto anterior.

- 
- Condiciones ambientales: la lluvia y la neblina pueden afectar la visibilidad del operador de la grúa. Para esto es importante obligar al despeje total del radio de trabajo y operar con luces para localizar a los obreros montadores.

4.8.3. Consideraciones al momento de cargar o descargar

Otro factor de riesgos es la manipulación con grúa horquilla en la carga, descarga o traslado de los elementos, componentes o módulos. Las consideraciones para evitar estos riesgos van en la línea de la prevención de accidentes por visibilidad, alcance y manejo responsable de maquinaria.

- Cuando se va a utilizar la grúa horquilla, se debe evitar que cerca de la máquina exista otro operario distinto al operador de ésta, ya que puede completar la tarea de carga y descarga sin apoyo.
- Se recomienda que exista un operario más alejado, pero pendiente de la operación, en caso de que existan complicaciones que detengan la labor de la máquina (como pueden ser tabiques mal estibados en el *pallet* o plataforma, carga desequilibrada, pallet roto, etc.).
- Este operario también debe vigilar el traslado para notificar algún desprendimiento de material de los elementos y/o algún daño que éste haya recibido en su manipulación.
- Para el uso de grúa horquilla se recomienda que bajo ningún aspecto se utilice para levantar personas o cargas con personas encima.
- Se recomienda dejar la carga lo más centrada y cerca del operador posible para evitar volcamiento de la grúa horquilla.
- Tener cuidado especial con la ruta que se utiliza para manejar la grúa.
- No subir la grúa horquilla a otras maquinarias.
- Al momento de dejar la grúa horquilla estacionada, realizarlo con el motor apagado y las horquillas en el piso, además de mantener el freno de mano puesto. Mientras que cuando haya que cargar bencina, realizarlo con el motor encendido.
- Conducir la grúa horquilla con cuidado, sin exceder una velocidad de 15 km/h en caminos despejados y a una velocidad máxima de 5 km/h en zonas y caminos más angostos o congestionados.
- Conservar una distancia de 12 metros entre una grúa horquilla y otra.




CAPÍTULO 5: FASE DE MONTAJE

Tal como ocurre con la Fase de Fabricación, esta también es una etapa extraordinaria si lo comparamos con la solución tradicional de la construcción. Esto nos lleva a realizar la comparación con la sección de montaje en una línea de producción del automóvil. Le llamamos montaje cuando diversas piezas se convierten en un motor o cuando montamos ese mismo motor con otras piezas y vamos creando un automóvil. Cuando volvemos el paralelo a la construcción industrializada, es la fase de Fabricación la que crea estas “piezas” para que luego en obra sean montadas para crear el producto final: una obra hospitalaria.

5.1 Estrategias para Montaje

Existen dos estrategias importantes que considerar respecto del montaje al momento de diseñar los elementos o componentes industrializados:

Primera Estrategia: Reducir el número de operaciones en montaje en obra. Los beneficios de esta estrategia son:

- 
- Reducir los tiempos y costos dependiendo de los métodos y procesos utilizados.
 - Potencial de reducción de fallas, lo que lleva a reducción en los costos de producción.
 - Aumentar la confiabilidad del elemento o componente industrializado.
 - Menores costos de manufactura.
 - Añadir componentes logísticos al montaje.

Segunda Estrategia: Reducir el número de partes en sub-montaje y el número de sub-montajes en un montaje. Los beneficios de esta estrategia son:

- Reducción de costos, ya que se reducen la cantidad de partes y trabajos de ensamblaje o submontaje.
- Obligan a los diseñadores integrar la visión de fabricación y montaje en el diseño, dando una visión más holística de la producción.

5.2 Consideraciones Generales

Se debe tener especial atención a las alineaciones durante el montaje. Esto es independiente del tipo de elemento o componente industrializado que sea y qué forma y dimensiones tenga. Un mal alineamiento llevará a retrasos por reacomodación, pérdida o daño de materiales e inclusive puede llegar a ocasionar un daño total del elemento, causando sobrecostos al proyecto.

Otro de los efectos de un mal alineamiento vertical imperceptible a priori genera el requerimiento de reparación o retoque utilizando materiales complementarios como yeso, morteros o adhesivos cerámicos.


5.3 Secuencia de montaje de módulos

La elaboración de la secuencia de montaje debe considerar todas las actividades instalación, desde la gestión de los elementos, componentes y partes que deben pre ensamblarse y las que se deben montar, hasta el diseño de operaciones, gestión de recursos humanos y la gestión de recursos compartidos (Ballard, 2001)³⁶. A continuación se presenta un *checklist* que debe ser considerado en el desarrollo de una estrategia de prefabricación (Gibb, 1999)³⁷:

a) Diseño Conceptual:

³⁶ G. Ballard, (2001). Lean Construction Institute – Prefabrication and Assembly and Open Building Championship Area.

³⁷ A. Gibb (1999), Off-site Fabrication: Prefabrication, Preassembly, Modularization (Scotland: Whittles Publishing, distributed by John Wiley and Sons, Inc, New York, 1999): 222.

- 
- Dimensiones generales para transporte.
 - Restricciones de peso, altura, ancho y largo.
 - Accesos y capacidades de grúa en obra.

b) Fabricación

- Detalles de los puntos de elevación.
- Detalles del punto de apoyo.
- Detalles de cuidados al transportar.

c) Logística:

- Ruta a la obra.
- Acceso a la obra.
- Permisos y autorizaciones (municipales o de intendencia).
- Tiempos de Entrega.

d) Elevación

- Acceso en la obra.
- Ubicación grúa.
- Selección de grúa.
- Alcance y cargas máximas de grúa.
- Permisos y autorizaciones.
- Cierres de calle por uso de grúa.

e) Seguros:

- Seguros de transportes.
- Seguros de grúas.
- Seguros de elevación.

f) Declaración del método:

- Producir declaración de método detallado.
- Ciclo de entrega.
- Disposiciones para el trabajo nocturno (de ser necesario).
- Especificaciones de grúa.
- Rutas de acceso.
- Limitaciones de otros oficios.
- Cargas estructurales.

g) Certificaciones:

- Inspecciones.
- Cierres de calles.
- Permisos.
- Inspección de grúa.
- Inspecciones de los mecanismos de elevación.
- Uniones.
- Documentos de seguridad.
- Garantías asociadas.
- Se recomienda realizar el levantamiento de la secuencia de montaje de los elementos o componentes industrializados. Para conseguir este objetivo se recomienda seguir los siguientes pasos:
 - Identificar todos los elementos o componentes industrializados que se van a montar en obra.
 - Identificar cuáles partes de elementos deben ser armados antes de elevarlos y cuáles después.
 - Identificar, según planificación, las fechas o etapas en las que se considera su instalación.
 - Según la estimación del plan de transporte, identificar los tiempos de elevación para obtener el ritmo.
 - Identificar el tiempo medio de montaje (considerando desde que el elemento o componente industrializado está en punto de montaje hasta que está montado, fijado y terminado) para así determinar la producción máxima diaria.

5.4 Conexión

Se producen conexiones entre elementos, componentes, partes que deben ir sub montadas en obra y cualquiera de estos con el proyecto en construcción (Willer, 1986)³⁸. La ubicación de las conexiones depende del sistema de cuadrículas que está siendo empleado en el diseño, mientras que sus formas están determinadas según los requerimientos de las fases de fabricación, diseño y logística. Se enumeran a continuación algunas consideraciones que se deben tener en la fase de diseño que impactan a las otras fases (Smith, 2011)³⁹:

³⁸ K. Willer, *Industrielles Bauen 1. Grundlagen und Entwicklung des Industriellen*, (Energie- und Rohstoffsparenden Bauens. Stuttgart/Berlin/Cologne/Mainz 1986): 96.

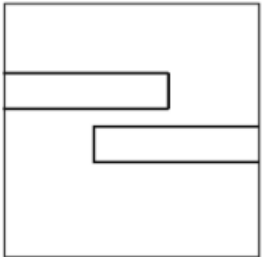
³⁹ Smith, R (2011). *Prefab Architecture: A Guide to Modular Design and Construction*

- Se deben proteger las conexiones del clima mediante estrategias en su diseño específico tales como las juntas de solapa o ranuras de goteo y en general cualquier solución para sellar las juntas.
- Aunque es posible que se requiera o se desee un sellador para el control de la humedad, en todos los ensayos, las conexiones deben tener en cuenta detalles de calidad mediante geometría y fijación.
- Las conexiones atornilladas o conexiones que permiten el desmontaje se reciclan más fácilmente.
- Las juntas realizan la humedad y el control térmico y la protección acústica.

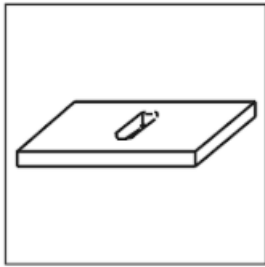
Las propiedades de materiales y herramientas de las conexiones pueden ser provechosas para los rendimientos globales de las partidas industrializadas (en conductividad del calor, acústica y humedad), incluso pudiendo llegar a números más altos, No obstante, las conexiones son indeseables, debido a que, a mayor fragmentación en partes del elemento, mayor oportunidad de fallas tendrá el proyecto de hospitalario que se está construyendo. El optar por mayor montaje fuera de obra lleva a necesitar de menos mano de obra para unir o sellar conexiones y menos mano de obra en obra (valga la redundancia). También permite requerir de menos productos para sellado y menos tiempo gastado en conexión, lo que reduce notablemente el costo del proyecto.

Para las conexiones existen mecanismos de ajustes, los cuales sirven en caso de que exista discrepancia dimensional, en otras palabras, si se llega a traspasar la tolerancia máxima exigida de las dimensiones al momento de montar un elemento. Estos mecanismos sirven para evadir esos fallos sin necesidad de hacer grandes reparos o modificaciones (Allen & Rand, 2006)⁴⁰:

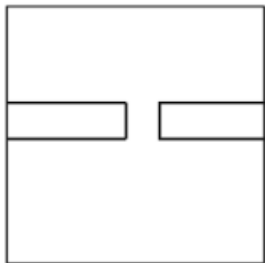
Tabla 18. Tipos de conexiones.

	<p>Ajuste deslizante: Un elemento traslapa a otro al momento de ser montado y es posicionado mediante deslizamiento. La brecha de la discrepancia dimensional es cubierta a través de la distancia deslizada entre los elementos.</p>
---	--

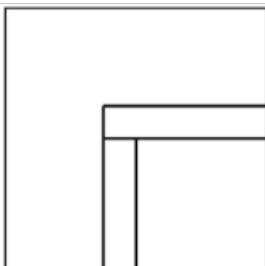
⁴⁰ E. Allen and P. Rand, *Architectural Detailing: Function - Constructability – Aesthetics*. 2nd Edition (John Wiley & Sons Inc., 2006): 163–183.



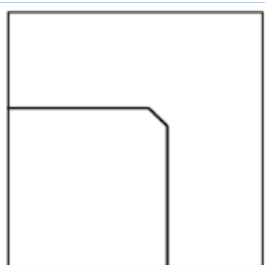
Ajuste Encajable: Se utiliza cuando hay elementos que deben tener un montaje de alta precisión. Se trata de un diseño de conexión que pueda ser ajustable una vez fueron montados los elementos (pueden ser agujeros sobredimensionados, anclajes con ranuras horizontales y/o verticales). Una vez alineado se debe utilizar soldadura o confiar en la fricción generada por la conexión atornillada.



Ajuste de Revelación: Consiste en el alineamiento de elementos a través de la compensación de materiales para evitar deslizamientos entre ellos y dejar que la tolerancia sea recogida en la dimensión de separación, creando de esta forma una "línea de sombra" para ocultar la falta de precisión en el detalle.



Ajuste de Tope: Se utiliza cuando se realiza la conexión entre elementos en una junta a inglete (o sea entre topes oblicuos de dos piezas). La conexión consta de un traslape de un elemento con otro, perpendiculares entre sí, para ocultar imperfecciones en detalles.



Ajuste de Borde: Comprende el tratamiento de los bordes de los elementos, del daño que podría provocar a otros elementos (rompimiento, abolladuras, raspones, entre otros) cuando estos son filosos y del beneficio de los bordes suaves (facilidad y seguridad de uso).





CAPÍTULO 6: INSPECCIÓN TÉCNICA Y RECEPCIÓN EN OBRA

Contar con un resumen de las conformidades que debe cumplir una actividad o algún entregable (en este caso o el elemento o componente industrializado o algún parcial), ayuda a que estos cumplan con los requerimientos técnicos, reglamentarios y normativos además de los requisitos contractuales, 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.

6.1. 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
- a) Contar con observaciones relevantes y con información completa para un resultado específico.
- b) 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.
- c) Contar con personal calificado para realizar la inspección según reglamentación requerida o según indicaciones contractuales.
- d) Contar con un inspector independiente del proceso de fabricación.
- e) Contar con trazabilidad de las entradas consolidada en un registro documentado de inspección.
- f) Contar con un registro único de inspección.

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

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

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 la secuencia de su declaración (Monash University, 2017)⁴³:

Tabla 19. Secuencia de declaración de un ITP.

Número	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:

Número	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.

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

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

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.

Dado que para el contexto chileno se requería un conjunto de herramientas de planificación y control para aplicar un sistema de criterios y procedimientos administrativos que enmarquen la inspección en la normativa chilena, se crea el Manual de Inspección Técnica de Obras, Los principios requeridos a cumplir para poseer un buen sistema de control de inspección están en el Manual de Inspección Técnica de Obra. En este manual, además de establecerse los principios para un buen sistema de control de inspección, se clasifican las actividades de inspección, según como aparece en la siguiente ilustración (División Técnica de Estudio y Fomento Habitacional, 2007)⁴⁴:

⁴⁴ División Técnica de Estudio y Fomento Habitacional (2007). Manual de Inspección Técnica de Obras. Ministerio de Vivienda y Urbanismo.



ESQUEMA DE ANALISIS SISTEMICO

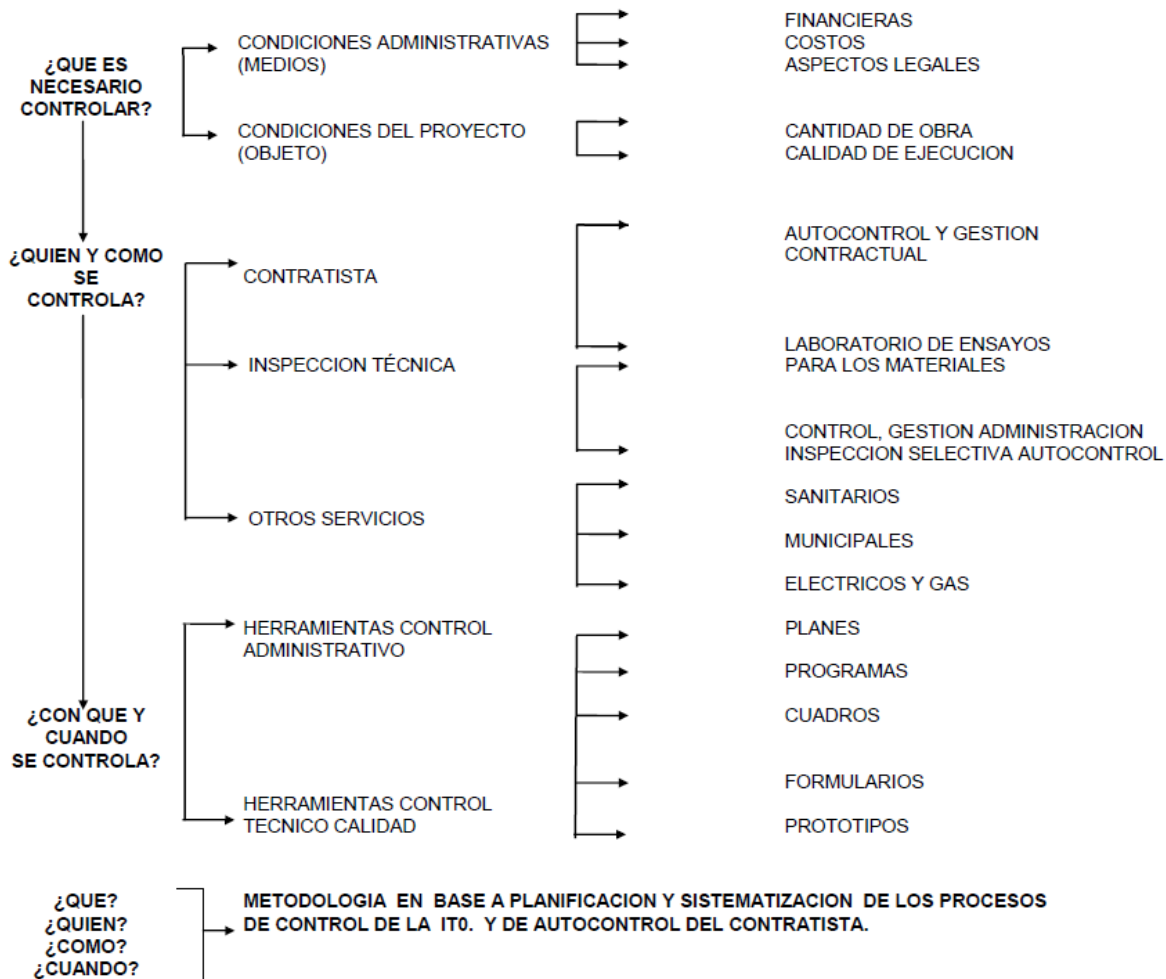


Ilustración 23. Esquema de Análisis Sistemático.

6.2. Recepción Técnica

Aquel punto que marca el cierre de una fase y el inicio de la siguiente es la recepción técnica. Se trata de un trámite en el que se verifica si el elemento o componente industrializado en producción va cumpliendo con todas las especificaciones requeridas, 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, a lo fabricado, en cuanto a los plazos y a otros aspectos administrativos.





6.2.1. Generalidades para Recepción de Diseño

Una vez finalizada esta fase, la verificación 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.

6.2.2. 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.

6.2.3. 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, izado, 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 vayan llegando se van a aceptar o no, siendo esto último regulado según la relación contractual entre las partes (fabricante y constructor).

6.2.4. 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.






CAPÍTULO 7: 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.

7.1. 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.

7.2. Para Criterios de Especialidades

7.2.1. 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.

7.2.2. 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

7.2.3. 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

