

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA



PONTIFICIA  
**UNIVERSIDAD**  
**CATÓLICA**  
DEL PERÚ

**PROBLEMÁTICA EN LA ETAPA DE ACABADOS DE EDIFICIOS  
MULTIFAMILIARES Y RECOMENDACIONES PARA MEJORAR  
LA CONFIABILIDAD DE LA PROGRAMACIÓN**

Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil, que presenta el bachiller

**Angela del Carmen Pimentel Mamani**

**ASESOR: Ing. Danny Eduardo Murguía Sanchez**

Lima, Enero de 2016

## RESUMEN

La construcción de inmuebles en nuestro país es una competencia constante, los clientes están más informados, exigen proyectos seguros en caso de sismos y buena calidad a buen precio. Es por ello que las empresas hoy en día necesitan un mejor rendimiento asegurando resultados de calidad. Sin embargo, un proyecto inmobiliario se compone de una gran cantidad de procesos, operaciones, actividades y tareas durante la fase de acabados y resulta difícil que una misma empresa cuente con personal especialista para cada actividad. Por lo tanto, la empresa consigue demasiados subcontratistas con mano de obra experta. El mercado laboral se encuentra surtido de subcontratistas disponibles a trabajar. Por lo cual, es imperativo realizar un adecuado estudio y comparación de sus trabajos desempeñados anteriormente. No obstante, la empresa contratista requiere establecer una estructura de trabajo que le permitirá realizar un control de producción del subcontratista de inicio a fin. Para dicho control se necesitan definir las tareas de cada actividad y los entregables en sus condiciones óptimas y utilizar herramientas que permitan mostrar el desarrollo de cada actividad en la programación general del proyecto. Es indispensable la comunicación clara, realizar entrevistas y reuniones con los subcontratistas y responsables de obra antes de iniciar el proyecto para programar debidamente las actividades.

En la presente tesis, se emplea la filosofía Lean Construction para planificar un flujo de trabajo sin pérdidas y que agregue valor. Nos enfocamos en la etapa de ejecución del Lean Project Delivery System donde se plantea una estructura de trabajo para la fase de acabados y control de la producción. Con el fin de aplicar herramientas Lean que solo se usa, en su mayoría, en la fase estructural. Se realiza un estudio de caso, en el segundo capítulo, en el cual se observa con detenimiento las pérdidas que se producen en cuatro partidas de acabados. Esta tesis plantea una propuesta de mejora en base a 5 hitos que son establecer una estructura de trabajo que se pueda controlar, realizar sesiones de Pull Planning con los subcontratistas, conocer los rendimientos, usar líneas balance e innovar empleado nuevos procesos constructivos o nuevos materiales. Finalmente, se realiza una aplicación de las propuestas. El objetivo del trabajo es que las empresas constructoras lleven un control ordenado y constante de los trabajos que subcontrata durante la fase de acabados a fin de garantizar a su cliente el proyecto en forma y plazo.

FACULTAD DE  
 CIENCIAS E  
 INGENIERÍA

**PUCP**

TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL



Título : Problemática en la etapa de acabados de edificios multifamiliares y recomendaciones para mejorar la confiabilidad de la programación.  
 Área : Construcción y Gestión  
 Asesor : Ing. Danny Murguía Sánchez  
 Alumno : ANGELA DEL CARMEN PIMENTEL MAMANI  
 Código : 2006.7099.412  
 Tema N° : 252  
 Fecha : 20 de octubre del 2015

#### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.-

Es muy común en nuestro medio que las partidas de acabados de un proyecto de edificación de viviendas sean encargadas a subcontratistas. Las condiciones de subcontratación se basan muchas veces en precio y calidad del producto terminado de acuerdo a los requerimientos del cliente y las alianzas estratégicas que puedan desarrollarse entre contratista general – subcontratista a lo largo de varios proyectos. Sin embargo, la confiabilidad de la programación contrasta considerablemente en relación a la etapa de estructuras u obra gruesa.

Los frentes de trabajo, la secuencia de actividades y la variabilidad de la etapa de estructuras se logran controlar de manera eficiente con herramientas del *Last Planner*. No obstante, los cronogramas en la etapa de acabados suelen ser barras Gant ajustados al hito de finalización de obra. El uso de las herramientas del *Last Planner* se reduce ya que los equipos de obra se dedican – por un lado - a gestionar la finalización del diseño de los acabados por la falta de especificación en el alcance, y por el otro, a presionar a los subcontratistas para terminar el proyecto en la fecha ofrecida al cliente. Los frentes de trabajo se dividen por “piso terminado”, “departamento” y en base a ellos se intentan realizar planes de producción que logran pobres resultados de PPC - porcentaje de programación cumplida –, se genera caos en campo, cruces de las cuadrillas en los procesos de trabajo, retrabajos por fallas en calidad y comunicación e incumplimiento de plazos y costos.

Este panorama puede cambiar con una investigación adecuada de los procesos de las partidas y estudiando su mejora, así como la estructuración del trabajo a fin de obtener herramientas que permitan mejorar la planificación y controlar la producción.





FACULTAD DE  
CIENCIAS E  
INGENIERÍA

PUCP

**1. OBJETIVO PRINCIPAL:**

A través de un caso de estudio, entender y analizar la problemática de la planificación y control de la etapa de acabados de edificios multifamiliares y proponer recomendaciones para mejorar la confiabilidad en la producción de esta fase.

**2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:**

- a) Visitar regularmente una obra en etapa de acabados para levantar información de las partidas de acabados
- b) Identificar las pérdidas de transformación, flujo y valor en cuatro partidas de acabado
- c) Estudiar la estructura de trabajo que se realiza la fase de acabados del proyecto en estudio
- d) Realizar los diagramas VSM – mapeo de cadena de valor – de las partidas estudiadas
- e) Validar los tiempos totales de las partidas con encuestas a 6 proyectos similares al caso de estudio
- f) Proponer una estructura de trabajo en la etapa de acabados para la planificación y el control
- g) Proponer innovaciones en el diseño y construcción de acabados que permita mejorar la construcción de los acabados en edificios multifamiliares.

**3. PLAN DE TRABAJO**

- 1) Recopilación bibliográfica
- 2) Trabajo de campo: a través de visitas a obra, encuestas, análisis de documentos técnicos y entrevistas se levanta información sobre el proceso de planificación y producción de cuatro partidas de edificación: pintura, enchapes, puertas y muebles de cocina y closets.
- 3) Análisis de datos: se procesa la información para encontrar las principales desviaciones y problemas. Asimismo, se validará la información obtenida con una encuesta a seis proyectos similares.
- 4) Propuesta: en base a los resultados y la literatura revisada se proponen recomendaciones e innovaciones para mejorar la confiabilidad en la programación en la etapa de planificación y producción.
- 5) Conclusiones y Recomendaciones

*Maximo: 100 paginas*



A mi madre por siempre apoyar mi formación profesional, ser mi fortaleza y ejemplo a seguir.

A mi asesor por su constante apoyo y colaboración en este proyecto.

A Dios por guiar mi camino y darme fuerzas para lograr mis objetivos.



## INDICE

<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>OBJETIVOS</b>	<b>2</b>
<b>HIPÓTESIS</b>	<b>2</b>
<b>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA Y COMENTARIOS A LA BIBLIOGRAFÍA CLAVE</b>	<b>3</b>
<b>CAPITULO I.- MARCO TEÓRICO</b>	<b>8</b>
1. LEAN CONSTRUCTION (CONSTRUCCIÓN SIN PÉRDIDAS)	8
2. LEAN PROJECT DELIVERY SYSTEM (SISTEMA DE ENTREGA DE PROYECTOS LEAN)	9
2.1 <i>Lean Assembly (Ejecución Lean)</i>	9
2.2 <i>Value Stream Mapping, VSM (Mapeo de la cadena de valor)</i>	10
3. WORK STRUCTURING (TRABAJO ESTRUCTURADO)	11
4. PRODUCTION CONTROL (CONTROL DE PRODUCCIÓN)	12
4.1 <i>Last Planner System (Último Planificador)</i>	12
4.2 <i>Master Schedule (Planificación Maestra)</i>	13
4.3 <i>Linear Scheduling Method, LSM (Líneas de Balance)</i>	14
4.4 <i>Phase Scheduling (Planificación por fases) – Pull Planning</i>	16
4.5 <i>Lookahead</i>	17
4.6 <i>Weekly Work Plan (Plan Semanal)</i>	18
4.7 <i>Diferencia entre planificación de obra y control de obra</i>	18
5. “WASTES” IN CONSTRUCTION (PÉRDIDAS EN LA CONSTRUCCIÓN)	19
<b>CAPITULO II.- ESTUDIO DE CASO</b>	<b>21</b>
1. METODOLOGÍA DE TRABAJO	21
2. ALCANCE DEL PROYECTO	21
3. ESTUDIO DE CUATRO ACTIVIDADES DE ACABADOS	23
3.1 <i>Pintura Interior</i>	23
3.1.1 Proceso constructivo	23
3.1.2 Cuadrillas y Rendimientos	26
3.1.3 Pérdidas de transformación, Flujo y Valor	27
3.1.4 <i>Value Stream Mapping</i>	28
3.2 <i>Enchapes</i>	29
3.2.1 Proceso constructivo	30
3.2.2 Cuadrillas y Rendimientos	34
3.2.3 Pérdidas de transformación, Flujo y Valor	34

3.2.4	<i>Value Stream Mapping</i>	35
3.3	<i>Puertas de Madera</i>	36
3.3.1	Proceso constructivo	37
3.3.2	Cuadrillas y Rendimientos	41
3.3.3	Pérdidas de transformación, Flujo y Valor	42
3.3.4	<i>Value Stream Mapping</i>	43
3.4	<i>Muebles de cocina y closets</i>	44
3.4.1	Proceso constructivo	45
3.4.2	Cuadrillas y Rendimientos	51
3.4.3	Pérdidas de transformación, Flujo y Valor	51
3.4.4	<i>Value Stream Mapping</i>	52
3.5	<i>Diagrama de flujo de integración de procesos</i>	53
4.	LA PROBLEMÁTICA EN LA FASE DE ACABADOS	54
4.1	<i>Estructura de trabajo</i>	55
4.2	<i>Control de producción</i>	56
4.3	<i>Comparar resultados de original con el real</i>	57
4.4	<i>Pérdidas</i>	58
4.5	<i>Conclusiones previas</i>	60
<b>CAPITULO III. PROPUESTA DE MEJORA: ESQUEMA SENCILLO PARA APLICAR LAST PLANNER</b>		<b>61</b>
1.	ESTRUCTURA DE TRABAJO	61
2.	SESIONES DE PULL PLANNING CON SUBCONTRATISTAS	61
3.	CONOCER RENDIMIENTOS	63
4.	USO DE LINEAS BALANCE POR CADA FRENTE DE TRABAJO	63
5.	INNOVACIÓN Y RECOMENDACIONES PARA MEJORAR PROCESOS	64
5.1	<i>Puertas Prefabricadas con Jambas</i>	65
5.2	<i>Base de Muebles de Melamine: Patas regulables y rodapiés.</i>	68
5.3	<i>Pintura con Soplete</i>	69
<b>CAPITULO IV.- APLICACIÓN A UN PROYECTO</b>		<b>70</b>
1.	ALCANCE DEL PROYECTO	70
2.	ESTRUCTURA DE TRABAJO	70
3.	LINEAS DE BALANCE	71
<b>CAPITULO V.- COMENTARIOS Y CONCLUSIONES</b>		<b>76</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>		<b>78</b>

## ÍNDICE DE DIAGRAMAS

Diagrama 1. Esquema de etapas Partening. Fuente: Caña, 2006.	5
Diagrama 2. Lean Project Delivery System. Fuente: Ballard, 2000.	9
Diagrama 3. Ejecución Lean. Fuente: Ballard, 2000.	10
Diagrama 4. Símbolos VSM.	11
Diagrama 5. Last Planner. Fuente: Ballard, 1994.	13
Diagrama 6. Herramientas del Last Planner System.	13
Diagrama 7. Diagrama de Flujo de Pintura de Interiores.	24
Diagrama 8. Mapeo de Cadena de Valor Actual de Pintura de Interiores.	28
Diagrama 9. Diagrama de Flujo de Enchapes.	30
Diagrama 10. Mapeo de Cadena de Valor Actual de Enchapes.	35
Diagrama 11. Diagrama de Flujo de Puertas Interiores.	37
Diagrama 12. Mapeo de Cadena de Valor Actual de Puertas Interiores.	44
Diagrama 13. Diagrama de Flujo de Muebles de Cocina.	46
Diagrama 14. Mapeo de Cadena de Valor Actual de Muebles de Cocina.	53
Diagrama 15. Flujo de las Cuatro Partidas.	54
Diagrama 16. Proceso Constructivo Puerta en Block	66

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Plan Maestro con tren de actividades (Ejemplo).	15
Tabla 2. Taxonomía de los desechos de la producción en la construcción. Fuente: Koskela, 2013.	19
Tabla 3. Información de obras encuestadas.	21
Tabla 4. Planificación Maestra de la Fase de Acabados.	22
Tabla 5. Cuadrillas y rendimientos en Pintura Interior.	27
Tabla 6. Pérdidas en Pintura Interior.	27
Tabla 7. Encuesta en Pintura Interior.	29
Tabla 8. Cuadrillas y rendimientos en Enchape.	34
Tabla 9. Pérdidas en Enchape	34
Tabla 10. Encuesta en Enchape	36
Tabla 11. Cuadrillas y rendimientos en Puertas de Madera.	41
Tabla 12. Pérdidas en Puertas de Madera.	42
Tabla 13. Encuesta en Puertas de Madera.	44

Tabla 14. Cuadrillas y rendimientos en Muebles de Cocina y Closets.	51
Tabla 15. Pérdidas en Muebles de Cocina y Closets.	51
Tabla 16. Encuesta en Muebles de Cocina y Closets	53
Tabla 17. Tren de actividades etapa estructural.	56
Tabla 18. Información del trabajo programado y el real.	57
Tabla 19. Tren de Actividades Aplicación a un Proyecto.	72

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Sesión de Pull planning. Fuente: video Lean Construction and the Pull Planning Method!.....	17
Ilustración 2. Planta típica.....	22
Ilustración 3. Remoción de derrames perceptibles.....	28
Ilustración 4. Corrección de vano de puerta.....	43
Ilustración 5. Sectorización en la etapa estructural.....	55
Ilustración 6. Frentes de trabajo en planta típica.....	62
Ilustración 7. Puertas prefabricadas con Jambas.....	65
Ilustración 8. Patas regulables y rodapiés.....	68
Ilustración 9. Aplicación de pintura con soplete.....	69
Ilustración 10. Planta típica de la Obra.....	70

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Líneas de Balance (Ejemplo).....	15
Gráfico 2. Líneas de Balance de los cuatro frentes de trabajos programados y reales. .....	57
Gráfico 3. Líneas de Balance de Cinco Frentes de Trabajo.....	64
Gráfico 4. Líneas Balance de la Planificación de Acabados para el Frente de Trabajo de Pintura (Frente de Trabajo 1).....	73
Gráfico 5. Líneas de Balance de la Planificación de Acabados para el Frente de Trabajo de Cocina (Frente de Trabajo 2).....	73
Gráfico 6. Líneas de Balance de la Planificación de Acabados para el Frente de Trabajo de Closets (Frente de Trabajo 3).....	74

Gráfico 7. Líneas de Balance de la Planificación de Acabados para el Frente de Trabajo de Puertas Interiores (Frente de trabajo 4). .....74

Gráfico 8. Líneas de Balance de la Planificación de Acabados para el Frente de Trabajo de Baño (Frente de trabajo 5). .....75



## INTRODUCCIÓN

Es muy común en nuestro medio que las partidas de acabados de un proyecto de edificación de viviendas sean encargadas a subcontratistas. Las condiciones de subcontratación se basan muchas veces en precio y calidad del producto terminado de acuerdo a los requerimientos del cliente y las alianzas estratégicas que puedan desarrollarse entre contratista general – subcontratista a lo largo de varios proyectos. Sin embargo, la confiabilidad de la programación contrasta considerablemente en relación a la etapa de estructuras u obra gruesa.

Los frentes de trabajo, la secuencia de actividades y la variabilidad de la etapa de estructuras se logran controlar de manera eficiente con herramientas del Last Planner. No obstante, los cronogramas en la etapa de acabados suelen ser barras Gant ajustados al hito de finalización de obra. El uso de las herramientas del Last Planner se reduce en la etapa de acabados, ya que los equipos de obra se dedican, entre otras cosas, a gestionar la finalización del diseño de los acabados por la falta de especificación de su alcance y presionar a los subcontratistas para terminar el proyecto en la fecha ofrecida al cliente. Los frentes de trabajo se dividen por “piso terminado”, “departamento” y en base a ellos se intentan realizar planes de producción que logran pobres resultados de PPC - porcentaje de programación cumplida –, se genera caos en campo, cruces de las cuadrillas en los procesos de trabajo, retrabajos por fallas en calidad y comunicación e incumplimiento de plazos y costos.

Este panorama puede cambiar con una investigación adecuada de los procesos de las partidas y estudiando su mejora, así como la estructuración del trabajo a fin de obtener herramientas que permitan mejorar la planificación y controlar la producción.

Por ello, el primer capítulo contiene un marco de teórico de gestión de la producción planteando estructura de trabajo y herramientas útiles para el control durante la fase de acabados. En el segundo capítulo, se realiza un estudio de caso sobre cuatro partidas relevantes donde se identifican subprocesos, rendimientos, flujos de trabajo y pérdidas. Durante el tercer capítulo se exponen sugerencias para que en la fase de acabados se pueda aplicar Last Planner y las herramientas de control de la

producción. Posteriormente, se realiza la programación de la fase de acabados de una obra actual teniendo en cuenta las sugerencias planteadas. Finalmente, se expresan los comentarios y conclusiones de la presente tesis.

## OBJETIVOS

### 1. Objetivo Principal.-

Estudiar la problemática de la planificación y control de la etapa de acabados de edificios multifamiliares y proponer recomendaciones para mejorar la confiabilidad de la programación, así como cumplir objetivos de plazo, costo y calidad.

### 2. Objetivos Específicos

- a) Identificar las pérdidas de transformación, flujo y valor en cuatro partidas de acabados de un proyecto multifamiliar
- b) Estudiar la estructura de trabajo que se realiza la fase de acabados
- c) Proponer un sistema sencillo que permita integrar al contratista y subcontratista para mejorar la confiabilidad de la programación
- d) Proponer innovaciones en el diseño y construcción de acabados que permita mejorar las partidas.

## HIPÓTESIS

Es posible aplicar Last Planner durante la ejecución de obras en la fase de acabados para mejorar el control de la producción de los subcontratistas evitando demoras en las entregas.

## REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA Y COMENTARIOS A LA BIBLIOGRAFÍA CLAVE

### 1. Subcontracting and Cooperation Network in Building Construction: A Literature Review – Shimizu y Cardoso 2002

Shimizu y Cardoso en el 2002 en Brasil realizaron un estudio de los aspectos importantes del subcontrato y muestran lo siguiente.

*Flexibilidad.- Subcontratación aparece como una respuesta a las incertidumbres del mercado.*

*Calidad.- La subcontratación, por un lado, puede mejorar la calidad del producto, ya que utiliza especializada mano de obra y, por otro lado, puede empeorar, porque conduce a problemas de control y descoordinación.*

*Costos.- Los costos fijos se hacen más pequeños, mientras que los costos de la transacción aumentan. Los costos fijos son menores porque subcontratación elimina el mantenimiento de equipos y mano de obra subutilizada. Los costos de transacción pueden llegar a ser más grande, porque cada nueva negociación del contrato puede implicar algunas propuestas de los subcontratistas.*

*Productividad.- Subcontratación tiende a vincular aún más el trabajador a la empresa subcontratista. Así, los efectos de replicación, la continuidad y el aprendizaje conducen a una mayor productividad de la mano de obra. Fácil acceso a equipo especializado y capacitación constante también dar lugar a una mayor productividad.*

*Controles.- El control de la calidad del trabajo es difícil con la subcontratación, ya que la gran cantidad de organizaciones independientes en el sitio hace que el control de avance de los trabajos difíciles.*

*Planificación.- La subcontratación de mano de obra intensiva hace que el proceso de planificación difícil. Por otra parte, intereses en conflicto pueden intervenir negativamente con la programación de actividades.*

*Tecnología.- La inestabilidad del mercado lleva las firmas contratantes no establecer acuerdos estables con el Subcontratista, lo que no permite la transferencia de tecnología.*

*Entrenamiento.- Los contratistas tienden a pasar la responsabilidad de la formación de los subcontratistas, pero en general, no son aptos para lograrlo, debido a las características financieras y la falta de tiempo para entrenamiento.*

*Seguridad en el trabajo.- La responsabilidad final de la seguridad en el trabajo recae en la empresa contratante, así como la implementación de un programa de seguridad, el compromiso y la supervisión de la subcontratista. El desinterés del contratista en la inversión en los programas de seguridad para y trabajadores desconocidos y la falta de familiaridad de los trabajadores con el funcionamiento flotante ambiente agrava este problema.*

*Consumo de materiales.- La subcontratación puede magnificar los materiales de desechos; subcontratistas tienden a terminar el trabajo lo más rápido como sea posible, sin controlar el uso de materiales.*

Lo más resaltante en la independencia del subcontratista y la dependencia del contratista sin un interés real en la mejora de la producción de a quien contrata. No existe una gran familiaridad entre las dos partes. Existe una gran desventaja al no incorporar al subcontratista desde el diseño del proyecto. El trabajo del contratista y sus subcontratas inicia cuando ya se definió la obra y se encuentran de manos atadas para las implicancia de los aspectos diseñados.

## **2. Diagnóstico y Evaluación de la Relación entre el tipo Estructural y la Integración de los Contratistas y Subcontratistas con el nivel de Productividad en Obras de Construcción – Caña y Escajadillo**

Es el trabajo de Tesis de Cristian Caña y Pedro Escajadillo del 2006. En el trabajo plantean las circunstancias del subcontrato, como ha crecido los últimos años y en los países cercanos como Brasil y Chile. Tratan de la integración vertical y como las empresas constructoras requieren de los subcontratos y entre las principales ventajas se encuentran: Mejora de actividades de marketing, mayores controles sobre el entorno, mayor eficiencia en la transferencia de la información y disminución de costos por crecimiento de la curva de aprendizaje.

Sin embargo, los aspectos negativos son: requerimiento de capital, desequilibrio de rendimientos, reducción de la flexibilidad o menor especialización en las actividades subcontratadas. Esto se puede reparar con estrategias que plantea Krippache 1992, desarrollar buena relación con subcontratistas y proveedores, no realizar trabajos subcontratados, dejar de subcontratar actividades de pocos beneficios, apelar a otras empresas precalificadas para monitorear las condiciones de los precios de mercado y finalmente aplicar estas estrategias de manera constante.

Además, plantea el Partening como herramienta de integración entre subcontratista y contratista. Impulsados por la filosofía Lean ambos deben comprometerse en realizar trabajos con menos pérdidas y lograr un compromiso de trabajo constante.

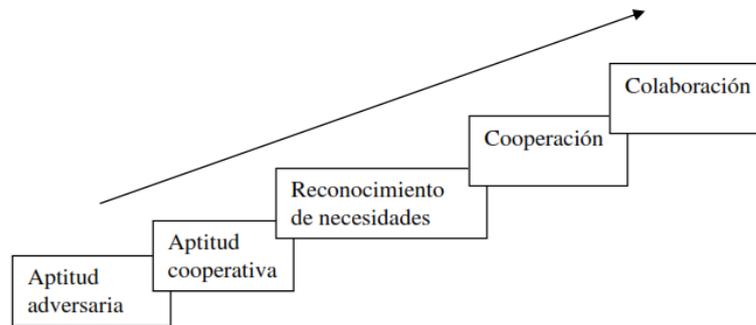


Diagrama 1. Esquema de etapas Partening. Fuente: Caña, 2006.

Debe haber honestidad y confianza para poder expresar opiniones para solucionar problemas en beneficio del proyecto. Generarse un ambiente de disminución de costos y aumento de utilidad. Además, fomentar la innovación y pensar en las demás actividades.

Un proyecto en el que implementamos el trabajo con el Subcontrata fue el Westin, lo que se hizo fue enseñarles a utilizar las herramientas Last Planner (look ahead, restricciones, plan semanal y PPC) y se los involucro en las rutina de reuniones semanales que se tenía en el proyecto.

### 3. Last Planner System: Experiences from Pilot Implementation in the Middle East – Alsehaimi y Koskela 2009

En base a la problemática del retraso de entrega de proyectos, se buscó mejorar la gestión de los proyectos empleando teorías y herramientas para la mejora de la productividad.

- Investigando la situación actual con entrevistas evaluadoras a los protagonistas.
- Capacitar con expertos en Sistema Último Planificador (SUP) durante reuniones semanales a lo largo de un periodo determinado.
- Se aplican los conocimientos y se realiza un monitoreo a los participantes sobre sus apreciaciones.
- Observación participante y no participante.

- Finalmente, una investigación de las percepciones de los participantes en la aplicación de SUP en el proyecto.

El Porcentaje de Plan Cumplido mostró un rendimiento flojo al inicio en los dos proyectos por debajo del 70%. Sin embargo, en el proyecto 1 se consiguió alcanzar el 100%. Finalmente, se logró un rendimiento estable por encima del 80%.

#### **4. Modelo de Gestión de Producción, Hotel Westin Libertador-Graña y Montero 2011**

Este trabajo plantea que a los subcontratistas se les suele exigir o controlar por avance, pero esto no asegura el cumplimiento o los hace confiables. Para hacerlos confiables lo que se hace es involucrarlos en la forma de trabajo del proyecto, enseñarles Last Planner, y como con el uso de este todos los involucrados en el proyecto, ellos como la empresa ganaban y entregaban un proyecto exitoso. La idea es que ellos entiendan estas herramientas, las sepan usar y se convenzan que si funciona. Esto se logra expandiendo el alcance de la Rutina de Programación hacia nuestros Clientes y Subcontratistas e implementar Reunión Semanal entre los involucrados con el objetivo de mejorar el orden y enfocar adecuadamente los esfuerzos de todos los involucrados a favor del proyecto.

#### **5. Automated Look-Ahead Schedule Generation and Optimization for the Finishing Phase of Complex Construction Projects – Ning Dong 2012**

Este trabajo reconoce la dificultad de la programación de los trabajos que se ejecutan durante la fase de acabados de un proyecto de construcción compleja. Dado que, se tiene una gran cantidad de actividades y procesos en detalle. Dichas actividades tienen una serie de restricciones que deben levantarse y requiere la organización de todo el equipo de trabajo responsable de la programación. De igual manera, se deben gestionar los recursos para cumplir con la planificación de la obra. Por tanto, el equipo humano no se da abasto con todo este trabajo. Debe realizar Look ahead constantemente y actualizar todas las decisiones que se tomen junto con las lecciones aprendidas.

La tesis implementa un enfoque automatizado de optimización para la programación que ayude con la problemática planteada. Este enfoque se rige por automatizar de generación de programación de la construcción, simular por ordenador, y de utilizar inteligencia artificial para la optimización de la programación. En consecuencia, proporciona las asignaciones de trabajo precisas para guiar el trabajo de campo para que los responsables de la obra puedan canalizar su tiempo y energía hacia otras tareas del proyecto. Por lo tanto, el residente de obra puede utilizar ese tiempo ahorrado en supervisar los trabajos diarios y ajustar sus estrategias de asignación de recursos de acuerdo a la dinámica, las condiciones del lugar en constante cambio, si bien respetando los objetivos de proyectos específicos.

## **6. Metodología de Integración de Subcontratos a un Sistema de Gestión basado en la Aplicación del Lean Construction: Aplicación y Mejoras Propuestas – Cristian Caña 2013**

Identifican la necesidad de optimizar su gestión. Ante esto propone una metodología para la integración de los subcontratos (SC) a un Sistema de Gestión basado en la aplicación del Lean Construction con el fin de asegurar el plazo y mejorar la productividad. El punto de partida es la implementación del sistema Last Planner (LPS) relacionada a la gestión de subcontratos, se aplica en dos proyectos.

El motor de este trabajo se desarrolló en la Oficina Técnica y se complementó a partir del inicio de las actividades con el equipo de Producción, sin embargo, se requiere que todo el equipo se involucre desde el principio. Se determinó que sería muy beneficioso para el proyecto poder contar con los especialistas a subcontratar desde una etapa temprana del proyecto para poder implementar todas las etapas planteadas con el tiempo adecuado.

El control de los indicadores se debe manejar durante las reuniones diarias para poder tomar acción ante cualquier desvío de lo planeado. Un dato importante de destacar es que la resistencia al cambio mostrada inicialmente por algunos subcontratistas se fue diluyendo tras ver el beneficio de trabajar de forma coordinada anticipándonos a las actividades. Esto les permite mayor continuidad en sus trabajos y confiabilidad en las programaciones realizadas, de tal forma que se puede deducir que un mayor grado de integración con los subcontratistas nos permite ser más productivos.

## CAPITULO I.- MARCO TEÓRICO

### 1. **LEAN CONSTRUCTION (CONSTRUCCIÓN SIN PÉRDIDAS)**

Es una filosofía que nace de la adaptación del Lean Manufacturing. Idea de trabajo flexible, aumento de la productividad a través de la gestión y organización (Just in Time) y el trabajo combinado que supera a la mecanización e individualización del trabajador. Cambio del Modelo de Conversión tradicional que comprende el proceso de producción como una secuencia neta de procesos a un Modelo de flujos. Flujos son las actividades o eventos necesarios para obtener el producto, se toman en cuenta además todas aquellas actividades que no agregan valor en el proceso de producción.

La construcción también transforma materiales para entregar un producto terminado. Sin embargo, en la industria de la construcción no se tienen productos totalmente iguales, como los que se producen en fábricas, cada obra es diferente a la anterior. Por lo tanto, la aplicación de un modelo de flujos en la construcción permite reconocer los inventarios y pérdidas. Pérdida entendida como todo aquello que no agrega valor. En conclusión, los objetivos principales son que los flujos no paren, que sean óptimos al igual que los procesos.

#### Los principios de Lean Construction:

- Reducir la variabilidad
- Reducir los ciclos de tiempo
- Reducción de tamaño de los lotes
- Incrementar la flexibilidad
- Seleccionar un enfoque de control de producción apropiado
- Estandarizar
- Instituir la mejora continua
- Utilizar Gestión Visual
- Diseñar el sistema de producción para el flujo y el valor
- Asegurar la comprensión de los requisitos
- Centrarse en la selección de los conceptos
- Asegurar los requisitos de flujo descendente
- Verificar y validar
- Ir y mirar por uno mismo

- Decidir por consenso, considerar todas las alternativas
- Cultivar una extensa red de contactos

## 2. LEAN PROJECT DELIVERY SYSTEM (SISTEMA DE ENTREGA DE PROYECTOS LEAN)

Traslada los principios del sistema de producción de Lean Manufacturing a la producción de la construcción. El objetivo es guiar a la ejecución de proyectos de construcción sin pérdidas. El LPDS se representa como un diagrama de fases y módulos como se presenta a continuación.

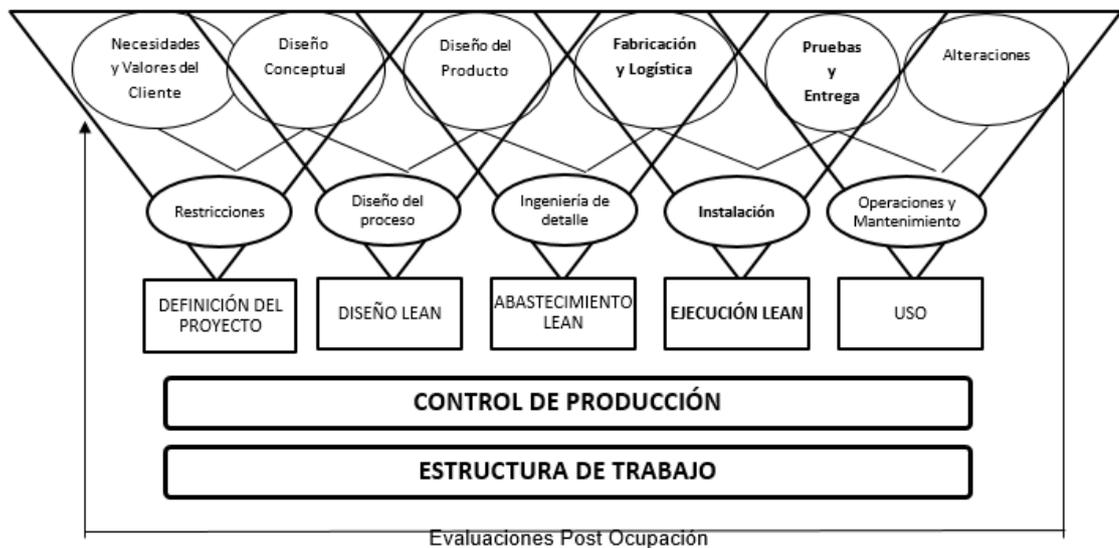


Diagrama 2. Lean Project Delivery System. Fuente: Ballard, 2000.

### 2.1 LEAN ASSEMBLY (EJECUCIÓN LEAN)

Inicio de la ejecución del proyecto en base a la estructura de trabajo. Para esto, se debe contar con la primera entrega de las herramientas, mano de obra y materiales para la construcción. Termina con la presentación de los trabajos al cliente. Si hay incompatibilidades se rediseña la estructura, es un trabajo constante. Para ello, se necesita estructurar y gestionar las operaciones íntimamente conectados como proceso de flujo continuo.



Diagrama 3. Ejecución Lean. Fuente: Ballard, 2000.

Con esta estructura se busca reducir las pérdidas durante la construcción del proyecto, mejorar la calidad del producto, mejorar la productividad de la mano de obra y agregar valor al cliente.

- Fabricación y logística.- Este módulo está constituido por productos y servicios que serán entregados si es que existiese una demanda.
- Instalación.- Este módulo involucra los procedimientos constructivos que se llevarán a cabo en la obra para producir el proyecto.
- Pruebas y Entrega.- Consisten en la entrega del producto y diversos procedimientos formales que aseguren la calidad del producto presentado al cliente.

## **2.2 VALUE STREAM MAPPING, VSM (MAPEO DE LA CADENA DE VALOR)**

Es la elaboración de un gráfico que permite identificar el planeamiento y fabricación de un producto, donde se observan las pérdidas (tiempos inutilizados) y las oportunidades de mejora. En él se muestran los flujos de información y materiales.

Se busca plasmar todos los procesos de forma individual que están involucrados pero sobre todo el plano general con la finalidad de identificar los tiempos de espera y los inventarios. Se informa de los rendimientos y los procesos necesarios para la entrega al cliente (Rother, 1999).

Al final se necesitan dos gráficos, el primero con el estado actual de la actividad y el segundo referido al futuro, implementando las mejoras que se pueden realizar con ayuda de las herramientas last planner.

Se muestran íconos típicos en el gráfico:

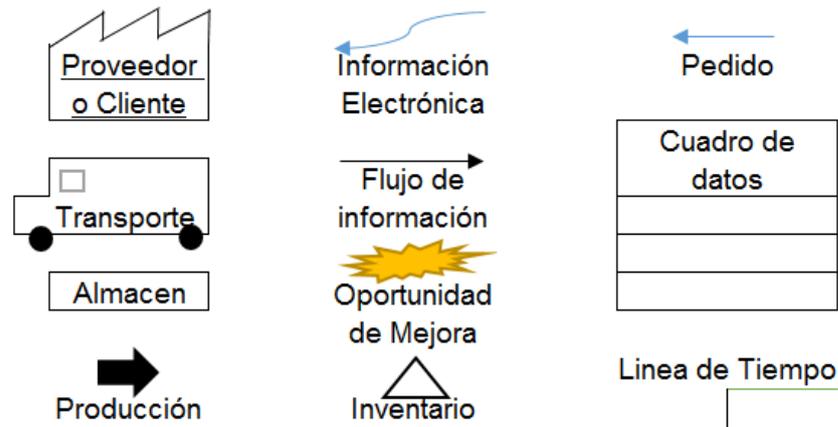


Diagrama 4. Símbolos VSM.

### 3. *WORK STRUCTURING* (TRABAJO ESTRUCTURADO)

Se entiende fundamentalmente como el diseño de procesos y en un término más amplio, como el diseño del sistema de producción. Así mismo, se requieren habilidades basadas en los principios de organización. El trabajo estructurado considera un proyecto como un conjunto de unidades de producción y segmentos de trabajo (Ballard 1999). Por ello, es necesario conocer en qué segmentos se asignará el trabajo a las Unidades de Producción Especialistas (UPE), cómo se va a secuenciar dichos segmentos a través de las UPE, cómo se liberará el trabajo de una UPE a la siguiente, si es que se necesitan buffers y de qué tamaño y, por último, cuándo se ejecutarán diferentes segmentos de trabajo. Con ello, se crea un sistema integrado de diseño de producto y procesos donde se minimiza la variabilidad para poder manejarla a través del flujo de lotes y buffers.

Los principales objetivos del Trabajo Estructurado son:

- Minimizar y manejar la variabilidad
- Integrar el diseño del producto y proceso
- Estructurar el flujo de trabajo mediante lotes y “buffers”, optando por buffers de capacidad antes que buffers de inventario.

Herramientas:

- 5Whys.- Es una técnica utilizada en el Motor Toyota Corporation, que fue desarrollada por Sakichi Toyoda, para la formación de resolución de

problemas. Es un enfoque crítico que busca identificar los problemas, sus causas y sus relaciones.

- **Buffers.**- Es un término muy usado en el Institute Group for Lean Construction. Se consideran amortiguadores usados para proteger el desarrollo del proyecto de la incertidumbre. Pueden ser buffer de tiempo, inventario y capacidad.

Por lo tanto, lo que se busca es conocer los procesos y diseñar su organización en un sistema integrado. Con lo cual se obtendrá un flujo de operaciones más confiable y dinámico donde se agregue valor al producto final y eliminando procesos innecesarios.

#### **4. PRODUCTION CONTROL (CONTROL DE PRODUCCIÓN)**

El control de producción se realiza durante todas las fases de definición, diseño, abastecimiento, ejecución y uso del proyecto. Es el control del flujo de trabajo y las unidades de producción, para poder obtener los resultados planeados. Consiste en evitar diferencias entre lo planeado y lo ejecutado. En Lean Construction se utiliza el sistema del último planificador para realizar el control de la producción (Ballard, 2000).

##### **4.1 LAST PLANNER SYSTEM (ÚLTIMO PLANIFICADOR)**

Fue publicado por Glen Ballard como un sistema para contrarrestar los problemas de la gestión y planificación en la construcción ayudándose además de la experiencia y los errores cometidos identificando sus causas. Last Planner es el nombre dado a la persona que asigna el trabajo directo a los trabajadores, aquello va directamente a terreno. Logrando que lo que queremos sea lo que podemos hacer y por consecuencia ambas se vuelvan en lo que vamos a hacer. Por lo tanto, se debe controlar el flujo de trabajo para conseguir que lo que se dice que se hará sea real, en ello consiste el éxito del control.

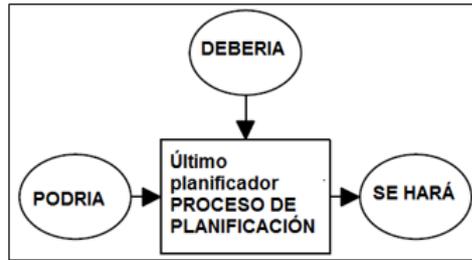


Diagrama 5. Last Planner. Fuente: Ballard, 1994.

Las obras tardan en conseguir un presupuesto y una programación global pero en la mayoría de las veces esa programación no se logra cumplir y afecta a las actividades siguientes por lo cual para terminar en el plazo se contrata más recursos (horas hombre, materiales, equipos, etc) lo cual sale del presupuesto. Por lo tanto, el Last Planner System se enfoca en una programación a corto plazo que sea capaz de cumplir las metas a largo plazo. Se debe establecer un horizonte de corto plazo con el suficiente detalle para conocer lo que se hará y lograr cumplirlo ya que usualmente que mientras más grande sea el espacio planificado menos impreciso y confiable será.

Por consiguiente, el last planner system para realizar la planificación y control de los flujos de trabajos de una obra emplea las siguientes herramientas.

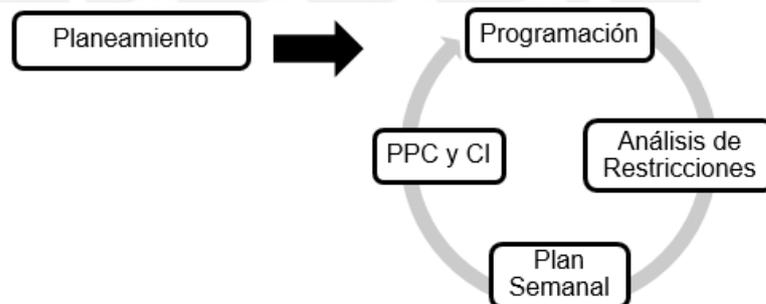


Diagrama 6. Herramientas del Last Planner System.

#### 4.2 MASTER SCHEDULE (PLANIFICACIÓN MAESTRA)

El plan maestro de la obra es una planificación de los principales hitos a lo largo de su ejecución. Permite identificar las fases de inicio a fin, se divide el proyecto y se establecen relaciones secuenciales para poder determinar el plazo de la ejecución de obra. Se programan las actividades importantes del proyecto identificando su inicio y fin como el pedido y la instalación de puertas y el ascensor.

Esta planificación a largo plazo no se tiene la información a detalle de todos los requerimientos para un flujo de trabajo confiable debido a la incertidumbre con respecto a lo que sucederá en el futuro. No obstante, sirve de base para establecer fechas contractuales con el cliente, subcontratistas, proveedores y otros involucrados. Por tanto, permite plantear las estrategias de ejecución del proyecto con los equipos de trabajo logístico y productivo. Finalmente, el plan maestro servirá de base para planificaciones a mediano y corto plazo lo cual revelará las restricciones del trabajo y podrá modificarse para adaptarse para tener un flujo de trabajo más fiable.

#### **4.3 LINEAR SCHEDULING METHOD, LSM (LÍNEAS DE BALANCE)**

Es un método de programación gráfica que emplean líneas que representan las actividades que se desarrollan en la obra. En el eje horizontal se colocan las fechas calendario y en el eje vertical se colocan las localizaciones de los trabajos, las pendientes son la velocidad de producción. Las pendientes deberían ser paralelas para asegurar un ritmo de trabajo constante. Logrando esto se planificarán los recursos destinados a cada sector. Si la pendiente real es menor a la programada indica que estamos retrasándonos y si es mayor indica que en algún momento estaríamos sin frente de trabajo. Por lo cual, los recursos no utilizados estarían retrasando otras zonas produciéndose inventarios.

Las líneas balance no requieren de mucho detalle sino que su utilidad está en apreciar las correlaciones y desempeño de las actividades del proyecto como el plan maestro. Se identifican los hitos principales y conforme avance la obra se podrá dar más detalle, conseguir que el Lookahead sea más preciso y se liberen restricciones de manera estable.

Las principales ventajas son: comparar velocidades de producción, programaciones planeadas, reales y proyectadas, establecer hitos y puntos críticos, observar dependencias y desfases de cada actividad (Calampa, 2014).

Por lo tanto, las líneas balance permiten una programación global con una representación accesible que mejora la comunicación con los involucrados como el contratista y propietario. Se procura mejorar la productividad global en lugar de la local (Orihuela, 2013).

Tren de Actividades

Es necesario realizar una programación de tren de actividades antes de las Líneas Balance para generar el ritmo de trabajo que se desea. También es conocida como Programación Rítmica o Lineal. Para ello, se define las unidades de trabajo, las actividades, su duración y se dimensionan los recursos. Es una secuencia de trabajo que reduce las variabilidades porque se trabaja en unidades de trabajo similares y la producción es constante. A continuación se incluye un ejemplo de Plan Maestro de un edificio de cinco pisos. Posteriormente, se presenta el gráfico para ilustrar como se trabaja con las Líneas Balance.

Tabla 1. Plan Maestro con tren de actividades (Ejemplo).

PLAN MAESTRO	Semanas																
	Junio				Julio				Agosto				Setiembre			Oct	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Cimentaciones	0																
Portico	0	1	2	3	4	5											
Tabiques y Columnetas		0	1	2	3	4	5										
Tarrajeo Cieloraso			0	1	2	3	4	5									
Tarrajeo Muros					1	2	3	4	5								
Contrapiso						1	2	3	4	5							
Enchapes							1	2	3	4	5						
Pintura Interior (hasta 1era mano)								1	2	3	4	5					
Puertas de Madera									1	2	3	4	5				
Aparatos Sanitarios										1	2	3	4	5			
Vidrios											1	2	3	4	5		
Pisos												1	2	3	4	5	
Pintura Interior (2da y 3era mano)													1	2	3	4	5

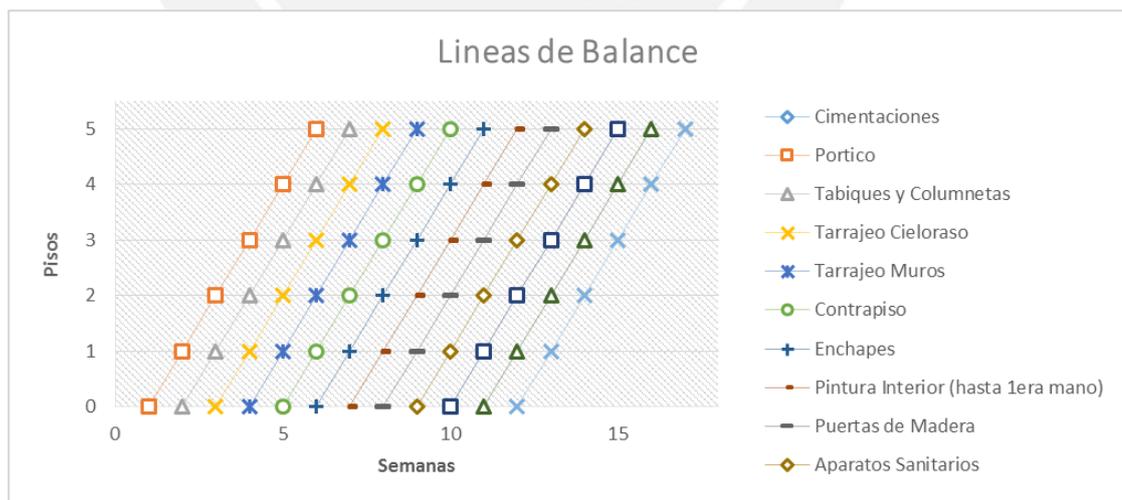


Gráfico 1. Líneas de Balance (Ejemplo).

En el gráfico se ilustran las actividades que se realizan en un determinado tiempo y además cuántas unidades se avanzan. Por lo tanto, se lleva el control del ritmo de trabajo de varias unidades y actividades en un mismo gráfico.

¿Cómo se reparten las holguras en las Líneas de Balance?

Las actividades que duran menos tienen una línea con mayor pendiente por lo tanto hay diferentes posibilidades para repartir holguras o buffers con ellas. En primer lugar, se puede agregar una mayor duración a la partida en consecuencia el inicio cambiará y la pendiente será menor. Además, en el caso de los acabados secos se pueden retrasar por los húmedos porque requieren de mayor tiempo de secado como el tarrajeo sin el cual no se puede iniciar la partida de pintura.

#### **4.4 PHASE SCHEDULING (PLANIFICACIÓN POR FASES) – PULL PLANNING**

Definidas las fases en el plan maestro se procede a identificar los procesos, operaciones y pasos de cada una. Por ser un plan más detallado se establecen los entregables que se deberán cumplir y las restricciones que deben ser levantadas para asegurar el flujo de trabajo.

El plan de cada fase debe ser elaborado por un equipo funcional donde estén todos los involucrados y puedan utilizar técnicas pull cerca al tiempo de inicio de cada fase. La técnica pull establece una programación de trabajos desde la fecha de entrega hacia el inicio de la fase (Ballard, 2000). Por tanto, se asegura que el flujo de trabajo se planifique dentro del plazo contractual y los entregables. En consecuencia, se simplifica el trabajo porque no se obtienen productos más de los establecidos, sobreproducción, lo cual es pérdida y al igual que los trabajos innecesarios que saldrían de esta programación.

El proceso de planificación de cada fase parte de conocer la sectorización, las actividades, equipos y responsables del mismo. Tomando la fecha final se programa la secuencia de actividades hasta el inicio. Se procede a asignar la duración de cada actividad luego se busca reducir la programación. Teniendo la fecha de inicio se compara con el plazo de toda la fase y se determinan las holguras y se asignan buffers. Se debe tener en cuenta que todo el equipo este cómodo tanto con la duración reducida lógica como con los buffers que se le agregan. A continuación, se presenta una imagen publicada de una sesión de pull planning.



Ilustración 1. Sesión de Pull planning. Fuente: Extraído de video Lean Construction and the Pull Planning Method!

La sesión de Pull Planning se puede ver que manejan una tabla donde en la parte superior están las columnas con el horizonte a programar en días, a la izquierda en la primera columna los responsables de cada partida y en la matriz se encuentran diferenciados por post-its que representan las actividades de cada partida. La dinámica de la reunión consiste en tener presente a los responsables de cada partida y los planificadores de la obra donde en base a la entrega final del proyecto se programan todas las actividades que se deben realizar previamente. Posteriormente, se identifican las restricciones, los cuellos de botella, las holguras entre otros aspectos importantes que permitan establecer un cronograma eficiente.

En el presente trabajo tratamos la fase de acabados. Teniendo en cuenta la participación de las personas involucradas en la programación: Ingeniero Residente, Maestros de Obra y Subcontratistas.

#### 4.5 LOOKAHEAD

Es una planificación de jerarquía media. Controla la disposición y la distribución de los recursos, como horas hombre, materiales y equipos, con anticipación para que se logren las metas a corto plazo. Logrando la posibilidad de realización de las actividades programadas. Trabaja en un horizonte de tiempo de acuerdo a la dificultad del levantamiento de restricciones.

- Análisis de Restricciones.- Un paso previo a la realización del plan semanal. Evalúa las restricciones de cada actividad por realizar. Solo cuando las restricciones se levanten, pueden ir al plan semanal.

El Lookahead se actualiza semana a semana siguiendo la magnitud del horizonte. El objetivo es redirigir los esfuerzos para cumplir con las metas a corto plazo previniendo los errores que en la mayoría de casos se pueden controlar. En consecuencia, mientras más se analice la programación se podrán encontrar las restricciones que se deben levantar para que se pueda realizar el plan semanal.

#### **4.6 WEEKLY WORK PLAN (PLAN SEMANAL)**

Es el plan inmediatamente antes de la ejecución de las actividades que ya no tienen restricciones. Su objetivo es el control de la producción de las UPE que ejecutarán en esa semana. Por tanto, son actividades que tienen los recursos necesarios para ejecutarse y no tienen restricciones bajo el compromiso del equipo de trabajo.

- Porcentaje de Plan Cumplido.- Evaluación post-ejecución que determina cuán efectivo fue el plan semanal elaborado.
- Causas de Incumplimiento.- Respecto a las actividades que no se ejecutaron al 100%, se analiza quienes y por qué sucedió.

#### **4.7 DIFERENCIA ENTRE PLANIFICACIÓN DE OBRA Y CONTROL DE OBRA**

Para comenzar, si no hay una estrategia de planificación no se puede controlar. La planificación maestra nos muestra hitos importantes de la obra para lograr un entregable, generándose una programación meta que se puede ordenar por pisos vs semanas de ejecución. La planificación por fases nos permite conocer las actividades que se deben llevar a cabo y sus restricciones.

Para iniciar la obra se requiere de un Lookahead que muestre el horizonte a trabajar y con él obtener el plan semanal con los sectores que se avanzaran y los recursos a emplearse. Con ello, se puede realizar el Control de Obra porque se conoce que actividades se realizan y con cuales y cuantos recursos se debe contar. Es así que día a día el trabajo puede ser controlado y al final de la semana se puede conocer el

Porcentaje de Plan Cumplido y con los reportes diarios se analizan las Causas de Incumplimiento. Finalmente, se genera la programación real de obra de acuerdo a la experiencia y se toman las medidas correctivas para llegar a la fecha de entrega.

## 5. “WASTES” IN CONSTRUCTION (PÉRDIDAS EN LA CONSTRUCCIÓN)

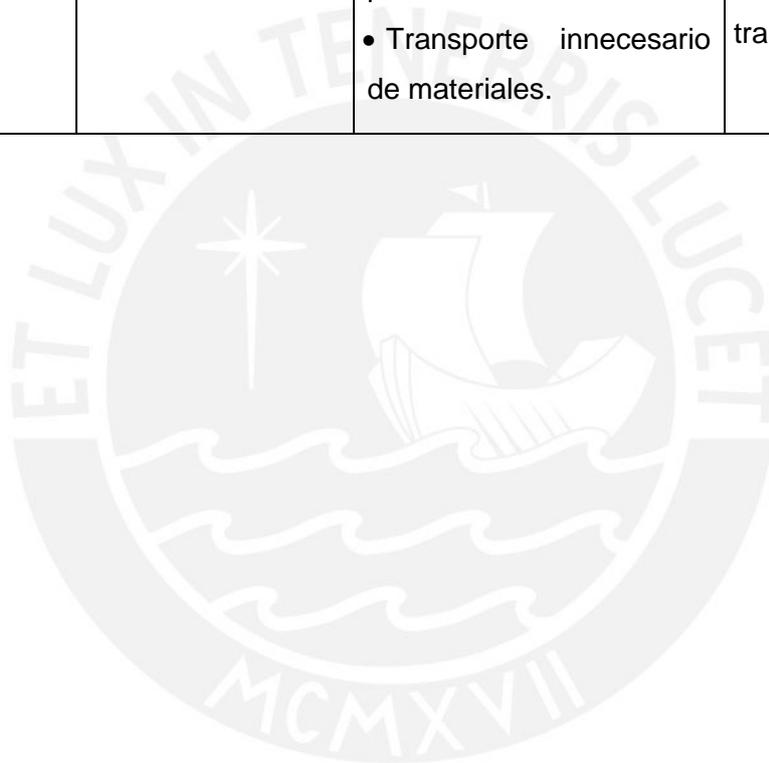
La filosofía Lean habla de una construcción sin pérdidas, pero cuáles son esas pérdidas. Koskela considera la producción como transformación, flujo y la creación de valor en los cuales puede haber pérdidas. Las pérdidas son no esperadas en la producción o no deseadas que se presentan dentro de la misma o como resultado de emplear más recursos de los necesarios en su proceso. Por el contrario, el valor es el propósito esperado de la producción.

Desde el aspecto de transformación, se tiene transformación de la materia prima, con el uso de recursos como horas hombre, materiales y equipos o maquinarias, la creación de un producto. Por lo tanto, las pérdidas están en emplear más recursos de los necesarios lo cual no crea valor al producto. Por otro lado se tiene el aspecto de flujo, donde los recursos son el tiempo y espacio. Sin embargo, el tiempo es el recurso fundamental porque el flujo de espacio también es flujo de tiempo. Por consiguiente, se puede producir pérdida de tiempo con esperas, trabajos innecesarios y/o ineficientes (toman más tiempo). Finalmente, la perspectiva de valor se centra en el producto de salida de todo el proceso. El producto final debe cumplir con las especificaciones del cliente y ser capaz de satisfacer sus necesidades, es decir un producto de calidad. Por último, la pérdida de valor es crítico para este aspecto y que se produzcan subproductos no deseados nocivos. A continuación se muestra el listado de los desechos que pueden encontrarse (Koskela, 2013).

Tabla 2. Taxonomía de los desechos de la producción en la construcción. Fuente: Koskela, 2013.

	Transformación	Flujo	Valor
Producción de Recursos	Materiales, maquinaria, energía y equipos.	Tiempo y Espacio	Calidad
Tipos de Recursos	Pérdida de Materiales	Pérdida de Tiempo y Espacio	Pérdida de Calidad y Valor

Residuos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desperdicio de materiales.</li> <li>• El uso no óptimo de materiales.</li> <li>• Uso no óptimo de maquinaria, energía y trabajo.</li> </ul>	<p>En el flujo de trabajo</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Movimiento innecesario de personas.</li> <li>• Trabajo innecesario.</li> <li>• Trabajo ineficiente.</li> <li>• Esperas.</li> </ul> <p>En el flujo de productos</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Espacio no trabajado.</li> <li>• Materiales no procesados.</li> <li>• Transporte innecesario de materiales.</li> </ul>	<p>Producto principal</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Falta de calidad.</li> <li>• Falta de uso previsto.</li> </ul> <p>Subproducto</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Emisiones nocivas.</li> <li>• Lesiones y enfermedades relacionadas al trabajo.</li> </ul>
----------	--	---	---



## CAPITULO II.- ESTUDIO DE CASO

### 1. METODOLOGÍA DE TRABAJO

El objetivo es obtener la información pertinente para analizar la problemática durante la etapa de acabados, en una obra que pertenece a una empresa con amplia experiencia en la construcción de edificios multifamiliares, realizando la siguiente metodología.

Para comenzar, se realizaron siete visitas a la obra para obtener los planos y conocer la obra. Durante las visitas interactúe con los responsables de la obra y los subcontratistas y observe los procesos constructivos. Por tanto, pude realizar 7 entrevistas: gerente de proyectos, residente de obra, ingeniero de campo y 4 subcontratistas de la etapa de acabados. A través de los documentos de obra y las entrevistas pude conocer la estructura de trabajo de la obra y comprender los procesos de producción de cuatro partidas: pintura, enchapes, puertas y muebles de melamine.

De igual importancia, se elaboró una encuesta en 6 obras de edificios multifamiliares similares que pertenecen a la misma empresa constructora, por lo tanto a la misma estructura de trabajo. La finalidad de la encuesta es obtener tiempos de duración de cada partida analizada, es decir cuánto demora en entregar un producto (departamento). A continuación se presenta la información de cada obra encuestada.

Tabla 3. Información de obras encuestadas.

INFORMACIÓN	Obra 01	Obra 02	Obra 03	Obra 04	Obra 05	Obra 06
<b>N° DEPARTAMENTOS:</b>	28	29	18	59	21	63
<b>UBICACIÓN:</b>	SURCO	LINCE	SAN BORJA	SAN BORJA	SURCO	LINCE
<b>INICIO OBRA:</b>	1/02/2008	1/02/2010	13/02/2012	13/05/2013	4/11/2013	22/09/2014
<b>FIN DE OBRA:</b>	15/06/2009	30/01/2011	16/02/2013	20/12/2014	27/12/2014	20/02/2016

### 2. ALCANCE DEL PROYECTO

El edificio multifamiliar está ubicado en el Distrito de San Borja. Se compone de 8 pisos más azotea y un sótano, la construcción es de sistema aporticado con placas y tabiquería de arcilla. Cuenta con 10 flats y 8 dúplex (4 con terraza). El sótano y



### 3. ESTUDIO DE CUATRO ACTIVIDADES DE ACABADOS

Para comenzar a solucionar la problemática planteada anteriormente se observaron las actividades propias de esta fase de la construcción que presentan mayores problemas en su producción y/o tengan mayor duración. Se seleccionaron cuatro partidas para un estudio que contemple todo su proceso de producción: Pintura, Enchape, Muebles y Puertas.

Todas las partidas utilizan los siguientes equipos de protección personal, sin el cual no pueden ingresar a la obra.

- Casco
- Barbiquejo
- Lentes de protección
- Tapones de oídos
- Mascarilla
- Guantes
- Pantalón jean
- Botas de seguridad

#### 3.1 PINTURA INTERIOR

Es la actividad de mano de obra que inicia la fase de acabados por lo cual tiene mucha relevancia porque varias actividades posteriores dependen de ella. Además, esta actividad tiene su fin con la presentación de la obra, dado que, muchas actividades reducen la calidad de esta actividad golpeando o manchando las paredes.

##### 3.1.1 PROCESO CONSTRUCTIVO

El orden de trabajo es primero los techos y luego las paredes para evitar derrames y manchas. La preparación del material a aplicar como el empaste o pintura debe realizarse con mallas finas para que no se encuentren grumos o partículas que terminen en las superficies y produzcan defectos. La partida de Pintura muestra la siguiente secuencia.

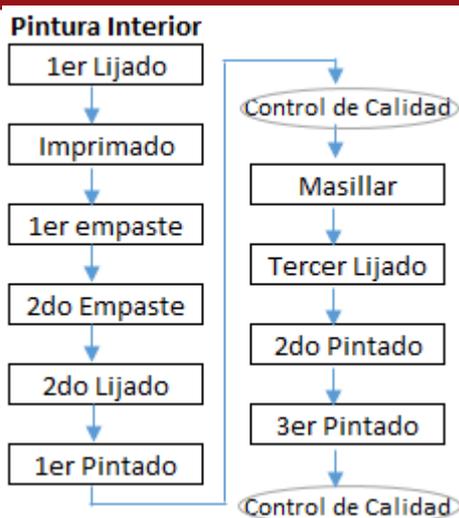


Diagrama 7. Diagrama de Flujo de Pintura de Interiores.

- a) Primer lijado.- El lijado es el proceso con el cual inicia esta partida y debe realizarse cuando la pared se encuentre seca después del tarrajeo. Este punto debe ser registrado por la empresa con un instrumento que mida la humedad de la superficie en un porcentaje entre 6% y 7%. El tiempo aproximado de secado es de 1 a 2 meses dependiendo del clima al cual este afecto. Este proceso se realiza para retirar la arenilla que queda segregada después del tarrajeo.

*Materiales:* Lija de fierro # 60, tacones de madera y palos de escoba.

- b) Imprimado.- Es también conocido como “Blanqueado”. Este proceso es el primer recubrimiento que se le aplica a la pared.

*Materiales en proporción*

- 1 bolsa de Imprimante m-325 MAJESTAD (30 kg)
- ½ galón de sellador
- 2 litros de agua

*Herramientas*

- Palo de escoba
- Balde
- Malla para eliminar grumos
- Rodillo de alfombra
- Brocha de 2 ½”

- c) Primer empaste.- Brinda la tonalidad crema que en este primer empastado es abundante. El primer empaste permite cubrir imperfecciones productos del tarrajeo.

*Materiales en proporción*

*Herramientas*

- 1 bolsa de Imprimante m-325 MAJESTAD (30 kg)
- 1 kg de yeso
- ¼ galón de sellador
- Palo de escoba
- Balde
- Malla para eliminar grumos
- Plancha de empastar acerada
- Espátula

d) Segundo empaste.- Se aplica con la finalidad de ocultar las imperfecciones. Para obtener un mejor acabado pueden terminar siendo 2 a 3 veces las manos de empaste con la siguiente proporción de materiales:

*Materiales en proporción*

*Herramientas*

- |  |  |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 bolsa de Temple Súper Blanco MAJESTAD (30 kg)</li> <li>• ½ kg de yeso</li> <li>• 1/8 galón de sellador</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Palo de escoba</li> <li>• Balde</li> <li>• Malla para eliminar grumos</li> <li>• Plancha de empastar acerada</li> <li>• Espátula</li> </ul> |
|--|--|

e) Segundo lijado.- Una vez terminado el empaste se procede a lijar para emparejar la superficie y borrar imperfecciones. Este proceso prepara la pared para recibir la primera mano de pintura.

f) Primer pintado.- Esta actividad vendría a ser la primera presentación de esta partida. Es la primera aplicación de la pintura con la cual ya pueden comenzar la partida de colocación de puertas (marco).

*Materiales en proporción*

*Herramientas*

- |   |   |   |
|---|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 balde de Pintura (5 galones)</li> <li>• ¼ galón de sellador</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Palo de escoba</li> <li>• Balde</li> <li>• Brocha de 3", 2 ½"</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Malla para eliminar grumos</li> <li>• Rodillo de alfombra</li> </ul> |
|---|---|---|

g) Masillar.- Producto del tránsito cotidiano de las demás actividades surgen ciertos desperfectos que deben ser resanados. Para estos detalles se utiliza una mezcla de temple con yeso para obtener una masilla que cubra estas imperfecciones.

*Materiales en proporción*

*Herramientas*

- 1 bolsa de Temple Súper Blanco MAJESTAD (30 kg)
- 1 kg de yeso
- ¼ galón de sellador
- Palo de escoba
- Balde
- Malla para eliminar grumos
- Plancha de empastar acerada
- Espátula

h) Tercer lijado.- Una vez terminado el masillado se procede a lijar para emparejar la superficie. Este proceso prepara la pared para recibir la última mano de pintura.

i) Segundo pintado.- Esta actividad es la previa a la presentación de esta partida. Después de esta aplicación se regresará a las áreas que hayan sido manchadas por el tránsito cotidiano.

#### *Materiales*

- Pintura

#### *Herramientas*

- Palo de escoba
- Balde
- Brocha de 3", 2 ½"

- Malla para eliminar grumos
- Rodillo pintor

j) Tercer pintado.- Esta actividad es la presentación de esta partida.

#### *Materiales*

- Pintura

#### *Herramientas*

- Palo de escoba
- Balde
- Brocha de 3", 2 ½"

- Malla para eliminar grumos
- Rodillo pintor

Recomendaciones.- Utilizar para el pintado de exteriores la marca American Color por sus aditivos acrílicos que sellan la superficie y además una mayor proporción de sellador que para los interiores.

### 3.1.2 CUADRILLAS Y RENDIMIENTOS

Los procesos son ejecutados directamente por un operario pero para los subprocesos de preparación del material se necesitan ayudantes, de igual manera para acarrear material. Se tienen los siguientes datos de cuadrillas y rendimientos para cada proceso:

Tabla 5. Cuadrillas y rendimientos en Pintura Interior.

Lijado	Imprimado	Empaste y Masillar	Pintura
<ul style="list-style-type: none"> <li>•Cuadrilla: 1 operario</li> <li>•Rendimiento : 200m<sup>2</sup>/día</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Cuadrilla: 1 operario y 1/2 ayudante</li> <li>•Rendimiento: 250m<sup>2</sup>/día</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Cuadrilla: 1 operario y 1/2 ayudante</li> <li>•Rendimiento: 80m<sup>2</sup>/día</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Cuadrilla: 1 operario y 1/2 ayudante</li> <li>•Rendimiento: 100m<sup>2</sup>/día</li> </ul>

### 3.1.3 PÉRDIDAS DE TRANSFORMACIÓN, FLUJO Y VALOR

Tabla 6. Pérdidas en Pintura Interior.

	Transformación	Flujo	Valor
<b>Tipos de Recursos</b>	Pérdida de Materiales	Pérdida de Tiempo y Espacio	Pérdida de Calidad y Valor
<b>Residuos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se deben aplicar una tercera y hasta cuarta mano de pintura por manchas o quiñes perdiendo materiales como el Sellador, considerado material crítico, que es muy utilizado en los procesos y la Pintura. Además, se debe contratar más mano de obra.</li> <li>• Uso no óptimo energía y trabajo. Se presentan bultos del tarrajeo que no son apreciados hasta después del masillado por su minucia. Se requiere mayor consumo de empaste (más grueso) para tapar imperfecciones.</li> </ul>	<p>En el flujo de trabajo:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Proteger la zona de trabajo con plástico y cartón después.</li> <li>• Tiempos importantes de secado de muros donde el personal no puede trabajar.</li> </ul> <p>En el flujo de productos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Espacio no trabajado por varios días después de la primera mano de pintura.</li> <li>• Muros pintados quedan como inventarios.</li> <li>• Transporte innecesario de materiales. Se lleva materiales a cada piso que no se llegan a utilizar.</li> </ul>	<p>Subproducto</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Emisiones nocivas de los materiales con componentes tóxicos.</li> <li>• Lesiones y enfermedades relacionadas al trabajo. Por las posturas para llegar a los techos.</li> <li>• Planeidad de muros es mayor a la tolerancia.</li> </ul>

Derrames.- Después el proceso de tarrajeo pueden ocurrir ciertas viertas de mezcla que no se aprecian hasta esta actividad de pintura. Difícilmente se aprecian y se logran eliminar durante el primer lijado, por su dureza por el tiempo de secado o por su minucia. Durante el proceso de empaste donde se tienen que retirar con espátula y recubrir estas zonas.



Ilustración 3. Remoción de derrames perceptibles.

### 3.1.4 VALUE STREAM MAPPING

En base a lo investigado se elabora el mapeo de la cadena de Valor detallando el proceso de 350m<sup>2</sup>, metrado aproximado por departamento, de superficie pintada y sus tiempos en cada actividad.

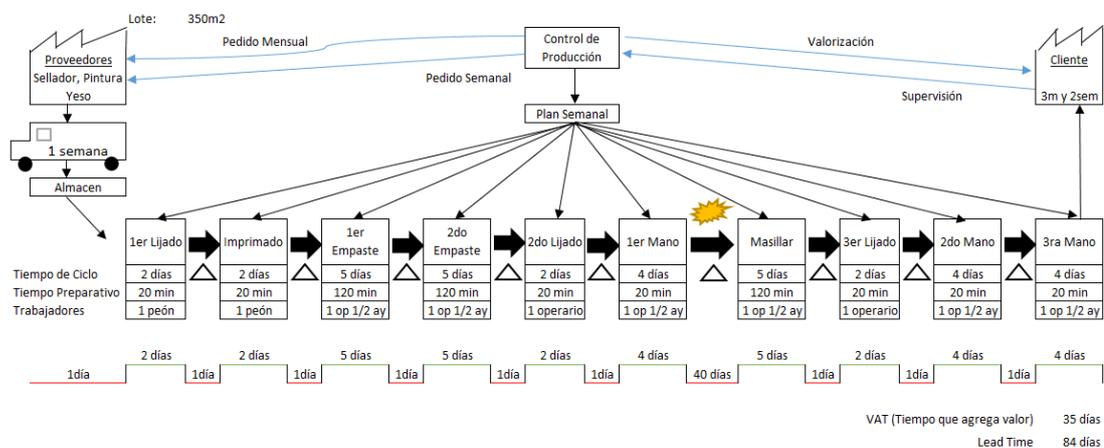


Diagrama 8. Mapeo de Cadena de Valor Actual de Pintura de Interiores.

La preparación de material y de andamios para realizar los trabajos en el techo son los que generan el tiempo preparatorio. Los símbolos amarillos indican una mejora. En el caso de los 40 días de espera se debe mejorar la producción de las actividades que interfieran. El Lead Time se basa en una encuesta a 6 obras de una misma empresa como se muestra a continuación.

A continuación se presentan los resultados de la encuesta.

Tabla 7. Encuesta en Pintura Interior.

Partida	Duración en días de la Partida						Promedio	Desviación Estandár
	Obra 01	Obra 02	Obra 03	Obra 04	Obra 05	Obra 06		
Pintura interiores	102	109	64	78	99	64	86	20

Factores externos que afectan.- Las modificaciones que se realicen en las instalaciones eléctricas o sanitarias afectan la superficie que requiere pintado. El tránsito, después de terminar el pintado, de otras partidas que utilizan el ambiente y pueden manchar las paredes o quiñar esquinas por ende se tiene que ingresar de nuevo a dar un acabado final.

### 3.2 ENCHAPES

Es una partida de mano de obra de carácter complejo, a pesar que tiene una valorización por metro cuadrado de avance, los detalles del diseño pueden interferir en la zona de trabajo. Por otra parte, es de gran importancia porque muestra el acabado del ambiente por lo que es relevante realizarse de manera apropiada cumpliendo los protocolos establecidos.

La colocación del porcelanato requiere conocer la posición precisa desde la cual se iniciara el proceso. Una referencia confiable es el nivel del muro, esto si el piso no se encuentra nivelado. Además, se necesita conocer la modulación que tendrá el ambiente, es decir, desde que punto iniciará la colocación del porcelanato, de manera que se aprecie mejor y no se noten irregularidades. Por ejemplo, los porcelanatos que no se colocan enteros por temas de medidas. Es un aspecto subjetivo y debe estar a cargo del cliente. Asimismo, se necesita conocer la posición de muebles de cocina, baños, salidas de agua y desagüe, tomacorrientes, interruptores, etc. Que se encuentren en el área que hay que enchapar.

La zona de trabajo debe ser revisada con escuadras y reglas para asegurar una superficie plana entre piso-contra zócalo y pared-contra zócalo de manera que no existan errores que se aprecien después de la colocación del porcelanato

### 3.2.1 PROCESO CONSTRUCTIVO

La colocación de porcelanato requiere un detalle minucioso del trabajo y que el operario prevenga los posibles errores desde la preparación del material. El pegamento se diferencia para la colocación de porcelanato y para el cerámico. En el primer caso, se utiliza Pegamento Blanco Flexible que posee mayor adherencia y por consiguiente mejor eficacia además de rapidez de secado. El pegamento para cerámico se utiliza Pegamento Gris. La fragua puede ser Chema o Celima. El enchape en los baños suele tener una altura que llega a la viga, para lo cual se debe dejar una dilatación que es rellenada con sicaflex o pegamento.

El orden de trabajo es primero paredes y luego los pisos para evitar derrames y manchas. A su vez se recomienda colocar primero las paredes de fondo y luego las laterales para cubrir los espacios entre ellos.

Material Crítico: Pegamento

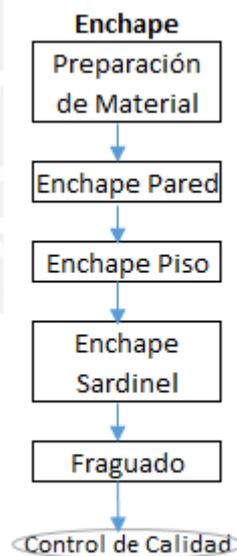


Diagrama 9. Diagrama de Flujo de Enchapes.

- a) Preparación del enchapado.- La actividad de esta partida empieza después del tarrajeo en muros y del contra piso si existiese. Este proceso de preparación se realiza si el área a enchapar requiere el corte del porcelanato porque no entran enteros por las dimensiones del área o en bordes que necesiten un acabado de

corte cola y sobre todo para las zonas donde existan llaves de agua, cortes en la pared para válvulas, tomacorrientes o interruptores, etc. que es el caso más frecuente en cocinas y lavanderías. A continuación explicaremos estos tres casos mencionados.

- b) Cortes para modificar dimensiones.- Al ingresar a un ambiente se observan todos los detalles relevantes que influyen en la actividad, como: contra zócalos, columnas que sobre salen del muro, ancho y altura de la colocación del enchape que impidan colocar las piezas completas. Para este último aspecto se prefiere por estética que el enchape se elija de acuerdo a la altura que lleva este material, de manera que tenga las piezas enteras en la altura.

#### *Materiales*

- Diamante para la lineal
- Lápiz

#### *Herramientas*

- Tenazas
- Lineal de 60cm
- Moldeadora
- Wincha
- Nivel
- Escuadra

Se inicia realizando el dimensionamiento del corte en cada porcelanato. Existen dos maneras diferentes de realizar el corte. El porcelanato dimensionado se coloca en el lineal y con el uso de un diamante se realiza una pequeña hendidura a lo largo, para luego realizar un torque que divida recién el porcelanato. Para el caso de que necesite cortar una dimensión de aproximadamente un centímetro o menos se realiza un torque con una tenaza. Luego, se da un mejor acabado con la moldeadora.

- c) Acabado corte cola en bordes.- Es un tipo de acabado que requiere una preparación antes de la colocación. Se utiliza comúnmente en muretes de baño, esquinas de columnas o muros. Consiste en dar un perfil de 45° a la esquina del porcelanato.

#### *Materiales*

- Lápiz

#### *Herramientas*

- Escuadra
- Moldeadora
- Wincha
- Nivel

Una vez que esta dimensionada la pieza se selecciona el borde que tendrá este corte. Se procede a desgastar el lado del porcelanato elegido con la moldeadora hasta obtener una cuña de 45°.

- d) Perforaciones en el porcelanato.- Las perforaciones en el porcelanato son comunes en las cocinas y lavanderías, por las llaves de agua y salidas de desagüe, tomacorrientes o interruptores, en pisos se colocan los sumideros. Es un proceso delicado que tienen varias formas de realizarse de acuerdo a la práctica del maestro.

*Materiales*

- Lápiz

*Herramientas*

- Wincha
- Nivel
- Escuadra
- Lineal de 60cm
- moldeadora
- Cincel
- Comba

Se define el corte que se necesita realizar. Para el caso de ser rectangular, se procede a dibujar las medidas exactas y su posición en el porcelanato. Luego, se coloca en la lineal para marcar los bordes del orificio y posteriormente se rompe utilizando un cincel y comba con golpes ligeros, finalmente se utiliza la moldeadora para dar un mejor acabado a los bordes.

Cuando se tiene un orificio circular, se procede al desgaste con la moldeadora por ambos lados hasta obtener una capa delgada que se pueda quebrar sin romper el porcelanato.

- e) Enchapado Pared.- Procede cuando se tienen claros la modulación y medidas del área en la cual irá el porcelanato. Evitando problemas con los muebles, puertas, sumideros, entre otros acabados. Además, se debe verificar que la superficie se encuentre libre de imperfecciones o en todo caso tomarlas en cuenta para su acabado.

*Materiales*

- Porcelanato o cerámico
- Pegamento

- Wincha
- Nivel
- Escuadra
- Martillo de goma

*Herramientas*

- Batea
- Plancha de batir
- Cincel
- Regla
- Espátula
- Raspín

Teniendo el material habilitado se procede a preparar el pegamento, el cual llega en polvo y solo necesita agregar agua para mezclarlos y eliminar grumos. Una vez obtenida la mezcla uniforme solo se tienen 3 horas aproximadamente para que no reaccionen los aditivos y endurezca.

La linealidad del enchapado se asegura con una regla que se coloca con un poco de pegamento y se apoya en retazos de porcelanato o cerámico residual. Se posiciona utilizando la wincha y teniendo como referencia el nivel de muro. A continuación se coloca el pegamento en toda la superficie del enchapado utilizando la plancha de batir y el raspín. El raspín produce franjas para una mejor adherencia. Luego se colocan los porcelanatos en el pegamento con una ligera presión. Es recomendable de a 4 unidades para que posteriormente se coloquen las crucetas y poder separarlas de manera apropiada. Es entonces cuando se colocan las crucetas con ayuda de una espátula. El ancho de cruceta depende del acabado que se quiera dar y si se trata de porcelanato para interiores, terrazas, cerámico de baños, etc. Posteriormente se realiza una fuerte presión para fijar el porcelanato. Esto se realiza con un martillo de goma para evitar vacíos entre el porcelanato y el pegamento. Consecutivamente se tocan las uniones para revisar el aplome entre porcelanatos, además, se verifica con un nivel.

- f) Enchape Piso.- Es el mismo procedimiento. En el caso de las duchas se instalan los cerámicos con cierta pendiente para evacuar el agua. Las terrazas también tienen cierta pendiente para que el agua de lluvias o por limpieza se dirija a un sumidero. Con respecto al ancho de crucetas empleadas, es común observar un ancho de 5mm en terrazas, 3mm en cerámico y 1-2mm en porcelanato. Es recomendable y usual que en el caso de terrazas se coloque una franja de dilatación de 1cm cada 3 metros.
- g) Sardinel.- Es el acabado de las tinas en forma de L.
- h) Fraguado.- El enchapado se deja secar un día libre de tránsito, periodo durante el cual el pegamento se endureció. Para elaborar la colocación de la fragua se necesita limpiar los espacios entre porcelanato y bordes que tengan pegamento. Esto se realiza con una hoja de sierra para no afectar el porcelanato. En el caso de las rebabas se utiliza la comba y el cincel. Posterior a la hoja de sierra se limpia con una escoba y luego con una compresora para asegurar el área libre de pegamento y polvo.

#### *Materiales*

- Fragua
- Esponja

#### *Herramientas*

- Espátula
- Deposito

Se tiene la superficie limpia y se prepara la fragua, viene en polvo solo para mezclarlo con agua en un depósito. La espátula ayuda a que la fragua ingrese en los orificios de manera uniforme para luego de endurecida se pase una esponja seca o húmeda dependiendo del enchape.

### 3.2.2 CUADRILLAS Y RENDIMIENTOS

El rendimiento se ve influenciado por las características de cada ambiente, como se observa uno de los rendimientos más bajos se da en los baños. A continuación, se presentan algunos rendimientos típicos.

Tabla 8. Cuadrillas y rendimientos en Enchape.

Preparación del Material y Enchape	Fraguado
<ul style="list-style-type: none"> <li>•Cuadrilla: 1 operario</li> <li>•Rendimiento:</li> <li>•Baños principales de 17m<sup>2</sup> de pared y 4m<sup>2</sup> de piso es de tres días</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Cuadrilla: 1 ayudante</li> <li>•Rendimiento: 30m<sup>2</sup>/día</li> </ul>

### 3.2.3 PÉRDIDAS DE TRANSFORMACIÓN, FLUJO Y VALOR

La superficie en paredes se prepara antes del enchapado con tarrajeo en la zona. Sin embargo, suele pasar que para los pisos no sucede lo mismo y es ahí cuando se invierte bastante pegamento en las zonas huecas para obtener un acabado nivelado.

Tabla 9. Pérdidas en Enchape

	Transformación	Flujo	Valor
<b>Tipos de Recursos</b>	Pérdida de Materiales	Pérdida de Tiempo y Espacio	Pérdida de Calidad y Valor
<b>Residuos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desperdicio de materiales. Cuando las superficies previas no están a escuadra se emplea más pegamento.</li> </ul>	En el flujo de trabajo <ul style="list-style-type: none"> <li>• Trabajo innecesario. Modificar las piezas que vengan con fallas de fábrica.</li> </ul>	Producto principal <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cambio de porcelanato</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El uso no óptimo de materiales en el caso del pegamento. Además, se emplean materiales para proteger los pisos del tránsito luego del fraguado.</li> <li>• Diseños consideran cortes mayores generando desperdicios alrededor de 15-20%.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Trabajo ineficiente. Separar las piezas buenas de las malas.</li> <li>• Sobreesfuerzo para retirar fragua cuando pasa el tiempo de secado.</li> </ul> <p>En el flujo de productos</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Esperas por diseños de instalación no completos.</li> <li>• Transporte innecesario de materiales. Cuando encuentran materiales desperfectos y los devuelven.</li> </ul>	<p>por quínes de futuras partidas que ingresan a la zona trabajada.</p>
--	--	---	---

### 3.2.4 VALUE STREAM MAPPING

En esta ocasión se realizó el análisis por ambiente de baño. El análisis de la partida fue también en este ambiente. Es el lugar donde se presentan más detalles que requieren un tiempo considerable en la preparación del material. A continuación, se observará el mapeo de la cadena de valor de esta actividad.

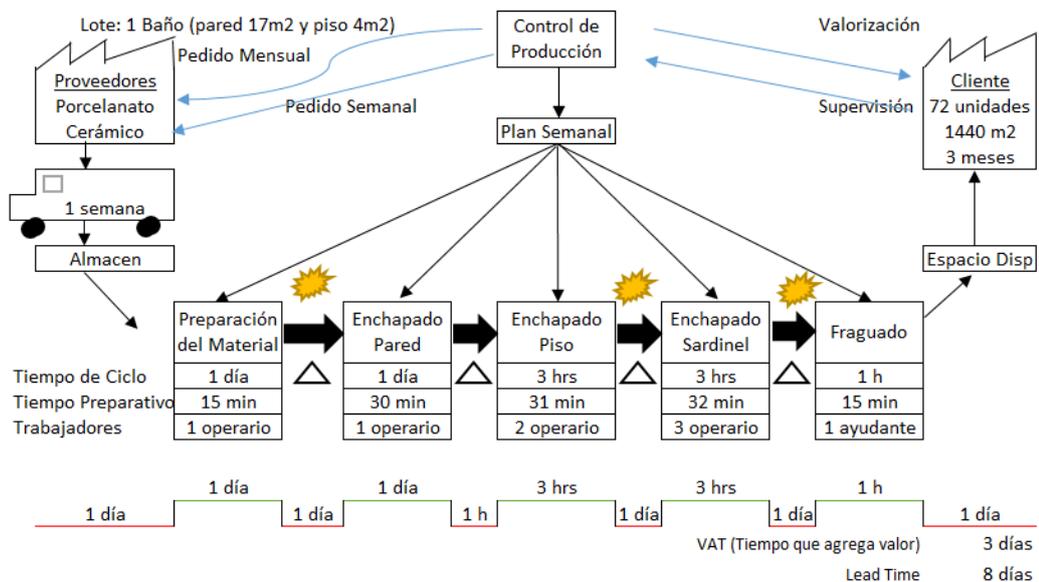


Diagrama 10. Mapeo de Cadena de Valor Actual de Enchapes.

Como se puede observar, hay tiempos de esperas en la preparación y secado de pegamento. Por lo que, se plantea implementar algún tipo de secado especial o

químico que acelere este proceso. En la encuesta que se realizó se observan tiempos diferentes debido a las distintas circunstancias.

Tabla 10. Encuesta en Enchape

Partida	Duración en días de la Partida						Promedio	Desviación Estandár
	Obra 01	Obra 02	Obra 03	Obra 04	Obra 05	Obra 06		
Enchape interiores	10	10	10	10	11	10	0	

Factores externos que lo afectan.- El Diseño puede presentar cambios de las instalaciones eléctricas y/o sanitarias, las medidas de muebles de cocina y/o su posición respecto del porcelanato, posición de puertas, modulación del enchape a gusto del cliente. Aspectos que involucran poner más porcelanato o cortarlo si ya están colocados. El tránsito se restringe a las personas sobre el piso colocado y manipulación de paredes. Previniendo el movimiento del porcelanato durante el secado.

### 3.3 PUERTAS DE MADERA

La presente partida comprende dos grandes etapas: Fabricación de la puerta (Marco y Hoja), Instalación de la Puerta (Marco, Hoja y Cerrajería). El inicio del contrato contempla un adelanto para la fabricación y posteriormente cuando se entregue la instalación de las puertas se realizara por valorizaciones. La fabricación de la puerta se realiza a partir de un mes a más antes a la instalación. Esto depende de la cantidad de puertas que se requiera y los materiales que se necesiten para su preparación. Previo a la fabricación se necesita conocer el tipo de madera a emplear y el detalle de las medidas, como adicional se presentaran detalles de diseño como bruñas.

Por otro lado, es importante que el vano de la puerta se encuentre bien cuadrado y aplome, para esforzar el marco y que no cuadre la puerta. Además, la puerta es el encuentro entre dos ambiente que en muchos casos tiene un acabado de piso diferentes, para lo cual es necesario colocar el marco acorde con el acabado del piso para que no se aprecie el piso del otro ambiente. Incluso el nivel entre los dos acabados debería ser el mismo para que el marco de la puerta no tenga problemas. El proceso de fabricación es de manera industrializada debido a la cantidad de puertas necesarias para un edificio multifamiliar. Como veremos, estos procesos no demandan mucho tiempo porque son máquinas las que realizan el trabajo de producción.

### 3.3.1 PROCESO CONSTRUCTIVO

La madera que se emplea para la fabricación de las puertas debe estar bien seca, de lo contrario se producen deformaciones después de fabricar la puerta. La instalación de los marcos se realiza cuando ya se tiene una primera mano de pintura en los vanos. Posteriormente, se instalación de puertas para lo cual se necesita tener en obra los materiales elegidos por el contratante como las bisagras o sistema de vaivén en el caso de las puertas de cocina, manijas entre otros. Es preferible tener los pisos listos antes de colocar la puerta: enchapes o laminados.

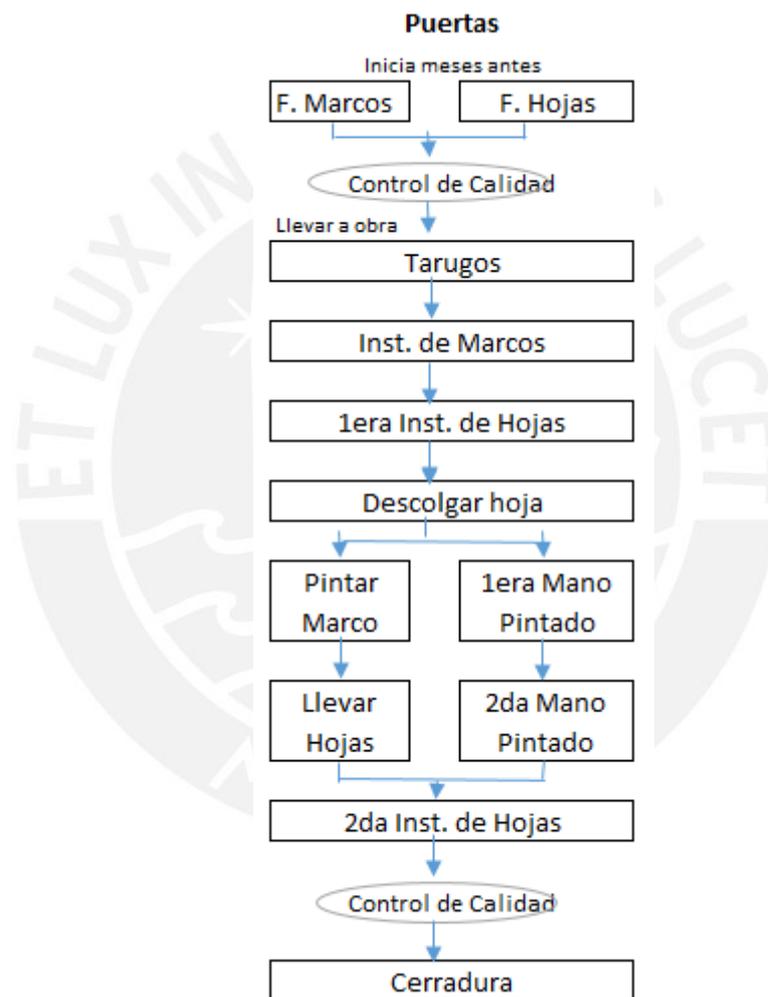


Diagrama 11. Diagrama de Flujo de Puertas Interiores.

- a) Fabricación de marcos.- El marco de una puerta se fabrica de manera rápida y no demora mucho tiempo porque se emplean pocos materiales o en todo caso pueden estar pre listo para ensamblar.

*Materiales*

- Listones de madera
- Cachimbo
- Cola Tekno

*Herramientas*

- Escuadradora
- Garlopa
- Escuadra
- Prensa hidráulica

El marco de la puerta se realiza utilizando listones de madera a medida del diseño de la puerta, es a pedido del cliente el espesor que tendrá y se mide en pulgadas. Los listones pueden comprarse preparados o en todo caso realizar el secado, cepillado, perfilado y lijado. Los listones de madera se unen con cola y empleando una prensa se fija el pegamento.

- b) Fabricación de puertas.- La fabricación de hojas de puertas depende del tipo que se requiera. Las inmobiliarias colocan comúnmente puertas contraplacadas y apaneladas, pero depende del cliente desea cambiar esto. A continuación, explicaremos el proceso de fabricación de una puerta maciza.

*Materiales*

- Listones de madera (Cachimbo, Tornillo, Moena, MDF)
- Cola Tekno
- Revestimiento contraplacado de madera.

*Herramientas*

- Garlopa
- Sierra ingletadora
- Cepilladora
- Lijadora
- Mesa de armado
- Herramientas de corte
- Prensa hidráulica

- c) Formación de Núcleo de Puerta.- Cortamos listones de madera con una sierra ingletadora a medida. Posteriormente se trabaja con la garlopa para enderezar los listones en las superficies inferiores. La cepilladora endereza la madera en las superficies encima. Se tienen preparados y cortados los listones para el núcleo a medida de la puerta. Es entonces que se encolan y ensamblan formando el núcleo. Además, se enmarcan con trozos de pino blanco. Una prensa compacta los trozos de núcleo y luego activa la cola con ondas microondas. Es entonces donde para asegurar la alineación dar una mejor superficie entre tantos elementos se procede a lijar y calibrar el núcleo de puerta.

Se procede a encolar el núcleo para pegar un revestimiento contraplacado en ambos lados y empilarlos en grupos de 6 a 7 puertas. Se colocan los grupos de puertas en una prensa fría durante media hora hasta que se seque la cola. La

prensa ayuda a que la unión adquiera resistencia. Prosigue el biselado de las puertas y corte a medida. A continuación, una maquina puede preparar la puerta para las bisagras y la cerradura para luego pasar a los acabados finales.

- d) Pintura y laqueado de Núcleo de Puerta.- Este proceso puede ser realizado por maquinas industriales. Las puertas obtendrán un acabado pero no es el final dado que luego de la instalación sufre daños por el manipuleo que deberán ser resanados.

#### *Materiales*

- Base
- Piroxilina al duco
- Sella mate

#### *Herramientas*

- Compresora
- Equipo y sopletes para laqueado
- Pulidora

El proceso inicia con el pintado de la puerta a gusto del cliente, es común entregar puertas blancas para los interiores de los departamentos y un color caoba para las puertas principales. Este proceso se puede realizar con una compresora para ayudar a mejorar el acabado dejando una superficie pareja. Se realiza dos capas de base para un óptimo acabado. Se deja secar y se procede al pulido para afinar la superficie y pueda recibir la laca sin producir grumos.

Entonces, se procede al laqueado con Piroxilina al duco. Esto producirá que la puerta adquiera resistencia a los agentes externos. Como adicional se puede aplicar sella mate.

- e) Tarugos.- La instalación de la puerta comienza con la instalación del marcos y se necesita una superficie aplome.

#### *Materiales*

- Tarugos rectangulares

#### *Herramientas*

- Taladro
- Wincha
- Escuadra
- Martillo
- Martillo de goma
- Formón

Se procede a realizar agujeros en el vano empleando un taladro. Esto es para insertar tarugos rectangulares con ayuda del martillo. Proporcionando un apoyo para incrustar los tornillos que fijaran el marco. En caso el marco no esté

preparado para recibir bisagras, esto se realiza con ayuda del formón y un martillo de goma previo a la colocación del marco.

- f) Instalación de marcos.- El marco será calzado con retazos de triplay sin interponerse entre el marco y el tarugo.

*Materiales*

- Marco en forma de U
- Tornillos

*Herramientas*

- Percutor
- Wincha
- Escuadra
- Cepilladora

La colocación del marco se realiza con ayuda de un percutor que insertará los tornillos. Los tornillos solo se colocan en los lados del vano. La parte superior del marco se ajusta por presión.

La escuadra y la cepilladora se utilizan para dar la medida exacta al marco y no se obstruya con el piso y no encaje.

- g) Primera Instalación de hojas.- La instalación de la puerta comienza con la instalación del marcos y se necesita una superficie aplome.

*Materiales*

- Bisagras
- Tornillos
- Tarugos planos

*Herramientas*

- Percutor
- Wincha
- Escuadra
- Cepilladora

Se prepara la hoja de puerta con las bisagras previa revisión de encuadre con el marco y no existan vacíos por los cuales se observe de un ambiente a otro. A continuación se colocan unos tarugos en la parte inferior para levantar la hoja a nivel de la posición del espacio de las bisagras en el marco. Finalmente se aseguran los tornillos en el marco atravesando las bisagras.

En caso sobren milímetros que eviten el cierre de la puerta se procede a cepillar con ayuda de la escuadra para asegurar el nivel. Sin embargo, para evitar daños se descuelga y se lleva a un ambiente, comúnmente el sótano, para realizar el pintado.

- h) Primera mano de pintura.- Una vez en el ambiente aislado se guardan las puertas y llegada la indicación se procede a pintar.

- i) Segunda mano de pintura.- Para darle brillo a la puerta y obtener un color parejo.
- j) Segunda instalación de hoja.- Se transporta la hoja de nuevo a su lugar para poder instalarla siguiendo los pasos anteriores. Esperando que no sufra golpes.
- k) Instalación de cerraduras.- La colocación de la cerradura se realiza cuando se está seguro del aplome de la puerta y que cierra sin problemas. Además, de una previa inspección del supervisor de obra.

*Materiales*

- Cerradura
- Tornillos
- Broca

*Herramientas*

- Percutor
- Wincha
- Escuadra
- Taladro

En caso la hoja de la puerta no esté preparada para la cerradura esto se realiza con la ayuda de un taladro y broca. A continuación se instala la manija de la cerradura asegurándolo con tornillos si lo demanda el diseño. En marco de la puerta debe marcarse la ubicación de la placa de cierre y realizar la perforación con el taladro y asegurando la placa con tornillos.

**3.3.2 CUADRILLAS Y RENDIMIENTOS**

La fabricación de marcos y hojas de puertas es un proceso industrializado como mencionamos anteriormente. La fabricación se realiza en talleres con maquinaria pesada las cuales no tienen un rendimiento exactamente similar. La producción del día debe estar acorde a la organización de los procesos y la cantidad de maquinaria. Incluso pueden encargarse de la compra y secado de la madera de acuerdo a la selección del cliente. Es común que la empresa contratante proporcione las bisagras, tornillos, cerraduras y demás insumos para la instalación. A continuación, se presentan algunos rendimientos típicos.

Tabla 11. Cuadrillas y rendimientos en Puertas de Madera.

Trabajos en Taller: Fabricación	Trabajos en Obra: Colocación
<ul style="list-style-type: none"> <li>•Rendimientos:</li> <li>•Listones 1/2 hora</li> <li>•Marco 1 hora</li> <li>•Nucleo 3 horas</li> <li>•Pintado y laqueado 3 horas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Cuadrilla: 1 operario</li> <li>•Marco 1 hora</li> <li>•Hoja de puerta 1/2 hora</li> <li>•Cerradura 1 hora</li> <li>•Pintura 3 horas</li> </ul>

Los procesos de fabricación de una puerta se dan en diferentes tiempos y no necesariamente la puerta demora en fabricarse la suma de tiempos de cada proceso. La producción se realiza en grupos, sobre todo el proceso de prensado.

### 3.3.3 PÉRDIDAS DE TRANSFORMACIÓN, FLUJO Y VALOR

Dependiendo la programación de la fábrica de puertas, esta partida puede durar más de lo previsto. Es recomendable tomar las medidas preventivas para que las puertas lleguen a tiempo y puedan avanzar acorde con la programación. No necesariamente la instalación de puertas se realiza en un día por que se espera a que la zona este libre de tránsito.

Tabla 12. Pérdidas en Puertas de Madera.

	<b>Transformación</b>	<b>Flujo</b>	<b>Valor</b>
<b>Tipos de Recursos</b>	Pérdida de Materiales	Pérdida de Tiempo y Espacio	Pérdida de Calidad y Valor
<b>Residuos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pintado y repintado por quiñes de otras partidas.</li> </ul>	<p>En el flujo de trabajo</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Trabajo innecesario de ir a medir los marcos e para ir a ver el avance en taller.</li> <li>• Trabajo ineficiente de cuadrar puertas.</li> <li>• Esperas porque no llegan las hojas y solo se avanza con los marcos. Hay muchos días de espera por otras actividades que entran a los departamentos.</li> </ul> <p>En el flujo de productos</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Espacio no trabajado por esperas y porque se llevan a pintar a otro lugar.</li> <li>• Materiales no procesados por descuadre, por definición de abertura por los pisos y las</li> </ul>	<p>Producto principal</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Falta de calidad al presentar la puerta por quiños producidos de golpes de otras actividades.</li> </ol> <p>Subproducto</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>2. Emisiones nocivas por las sustancias químicas.</li> <li>3. Lesiones y enfermedades relacionadas</li> </ol>

		<p>puertas que se quedan en un almacén hasta que son colgadas.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Transporte innecesario de materiales a zonas de pintura.</li> </ul>	<p>al trabajo por el transporte de puertas o por el pintado.</p>
--	--	---	--

Mal Tarrajeo.- El aplomo de superficie de los marcos en más complicado que el de un muro pero es necesario realizar una superficie pareja para que reciba los marcos de puerta y no haya defectos en el cierre.



Ilustración 4. Corrección de vano de puerta.

### 3.3.4 VALUE STREAM MAPPING

En base a lo investigado, se procede a realizar el mapeo de cadena de valor de la instalación de una puerta. Para el proceso actual se representará las actividades que componen sólo la instalación.

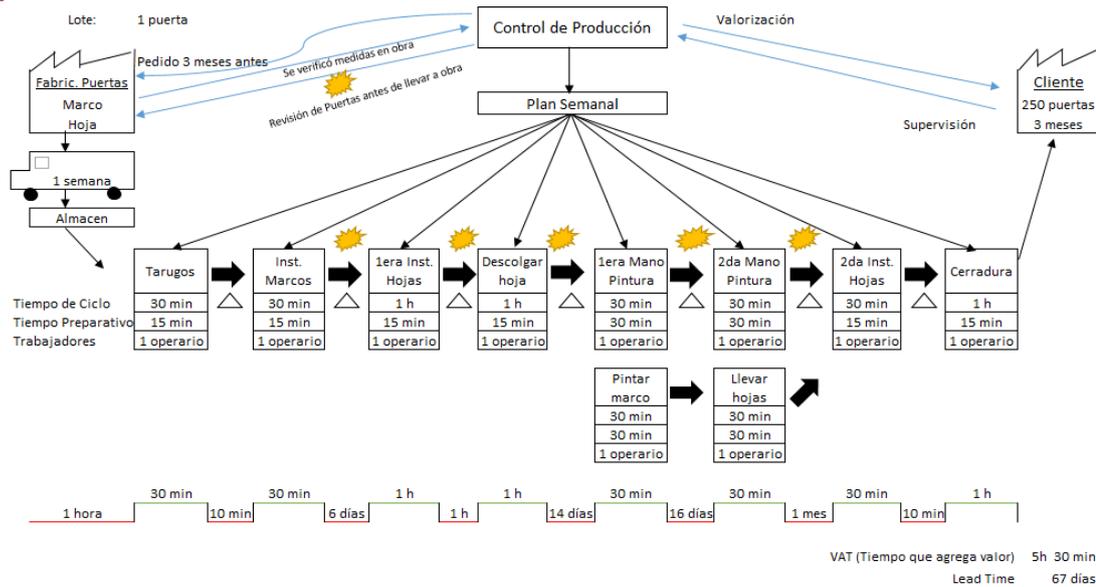


Diagrama 12. Mapeo de Cadena de Valor Actual de Puertas Interiores.

En este trabajo se puede apreciar que se tiene que pedir las puertas en cantidad con 3 meses de anticipación a más. Esta partida es muy importante porque es el ingreso del departamento, si se ve mal no dará una buena impresión global del departamento al cliente. Sin embargo, se deben buscar proveedores de buena calidad pero que tengan mayor disponibilidad y atención al cliente para evitar demoras y tiempo de personal a monitorearlos constantemente. Además, impulsar las mejoras de otras actividades para evitar que esta partida dure tanto tiempo.

Tabla 13. Encuesta en Puertas de Madera.

Partida	Duración en días de la Partida						Promedio	Desviación Estandár
	Obra 01	Obra 02	Obra 03	Obra 04	Obra 05	Obra 06		
Puertas interiores	71	78	54	78	64	58	67	10

Factores externos que la afectan.- El diseño de la puerta como bruñas o formas especiales demandan mayor tiempo de preparación. Además, el color final puede ser cambiado por el cliente, esto se da sobre todo en la puerta principal. Las cerraduras por temas de seguridad pueden ser modificadas y agregarles tranca cantol como ejemplo.

### 3.4 MUEBLES DE COCINA Y CLOSETS

La fabricación de la estructura demora de acuerdo a la cantidad, complejidad y tamaño. Es necesario tener definido el diseño final con las medidas exactas de piso

a mueble, entre muebles altos y bajos, longitudes, entre otros. En el caso de la cocina tiene que considerarse el enchape y el granito que va sobre el mueble, lavadero y griferías.

El tarrajeo de las superficies deben estar a plome para evitar abolladuras y deformaciones del melamine que no resiste como la madera. Al contrario a otras partidas, los muebles tienen diseños diversos de ubicación y medida. A continuación se mostrar un proceso de montaje muy general para muebles de cocina y luego de un closet.

### 3.4.1 PROCESO CONSTRUCTIVO

El diseño de los muebles debe ser rectificado en obra con el debido tiempo para realizar las correcciones correspondientes. Además, acordar con el ingeniero en obra los detalles de otras partidas como el enchapado, tarrajeo y la pintura para poder iniciar la instalación. Las piezas que se instalan después de la estructura es preferible que se coloquen cuando el ambiente ya no será transitado. Dado que, después de instaladas no habrá retoques, solo limpieza. Posteriormente, a la instalación de puertas se necesitará tener en obra los materiales elegidos por el contratante como las bisagras, y tiradores.

La modulación de la estructura puede realizarse en el taller, sin embargo, en algunos casos prefieren realizarlo en obra por temas de espacio. Para ello se debe proporcionar el área adecuada y acondicionada para que realicen dicha labor. Los enchapados deben estar listos en la cocina al igual que la pintura o por lo menos las primeras manos. Por diseño se prefiere que se coloque un poco de enchape debajo del mueble para evitar vacíos en su unión.

Existen también detalles de medidas de artefactos como ancho de cocina o refrigeradora que requiera que se acorten o cambien muebles altos y/o bajos. Los materiales deberían llegar en grupos y según lo requiera la instalación para que tenga un inicio ordenado y productivo.



Diagrama 13. Diagrama de Flujo de Muebles de Cocina.

- a) Corte y pintado del melamine (trabajo de campo).- Los muebles de cocina y closets son de planchas de melamine que se compran en medidas estándares que se cortan y pintan según lo requiera el diseño.

*Materiales*

- Planchas de Melamine

- Encuadrador de melamine o sierras mecánicas.
- Encoladora de cantos

*Herramientas*

- Escuadra
- Nivel
- Herramientas de corte

Las planchas de melamine se venden por planchas que varían de medidas dependiendo de la marca, por ejemplo de 2.14 x 2.44 m o 1.83 x 2.44 m aproximadamente. Conociendo el diseño debe determinarse las medidas de las secciones del mueble e identificar la cantidad de cada sección para conocer de una plancha cuantas se obtendrán. A continuación se realiza el corte de la plancha y se recomienda etiquetar las melamines cortadas. Posteriormente, conociendo los bordes que serán visibles y los que se oculten. Se procede encolando los cantos.

Luego arman la estructura en módulos para ser llevadas a obra para su instalación. Por lo cual, se necesita un tiempo prudencial para fabricar los retazos

del módulo y pintar los bordes visibles. Además, para un mejor ensamble de las piezas se pueden realizar perforaciones no tan profundas que permitan la inserción de espigas a parte de los tornillos. Por otro lado, a las piezas laterales se les realiza una corredera que va de lado a lado para que reciba los tableros traseros.

- b) Modulación de la estructura del mueble (trabajo en taller).- Los tableros de melamine se tienen a medida e indicando su posición en la estructura (base, laterales, trasera, tapas, repisas, listones, etc.), además deben con las perforaciones mencionadas anteriormente.

#### *Materiales*

- Melamine a medida
- Cola Tekno
- Tornillos
- Espigas
- Punta de Allen de 3mm

#### *Herramientas*

- Martillo de goma
- Percutor
- Escuadra
- Nivel

Se inicia tomando las melamines laterales ubicando y diferenciando las perforaciones. Se muestra el siguiente tablero: a la izquierda van las espigas, a la derecha se ve la corredera para la melamine trasera del mueble y los 4 agujeros para el colgador en caso de un mueble alto.

Teniendo claro esto se procede a engomar las perforaciones donde se colocaran las espigas. Prosigue colocar las espigas y presionarlas golpeándolas con un martillo de goma.

Preparadas las laterales, se coloca la base y la parte superior del mueble, previamente engomadas en los agujeros que encajan y se presionan las piezas golpeándolas con martillo de goma. Además de las espigas se asegura la estructura con tornillos calculando que no se crucen con las espigas. Finalmente se embala y se lleva a obra cuidando que no se golpee. Es bueno revisar que los lados visibles que encuentren pintadas (bordes). Este proceso es el mismo para cajones de los muebles, estructura de closets.

Las puertas del mueble con manijas y, en algunos casos, las repisas se colocan después de instalados. En el caso de cocinas, en lugar del tablero superior se colocan tirantes porque va en granito en su lugar. En el caso de un closet es la misma estructura pero existen diseños en los cuales en lugar de melamine

trasera solo se emplea el fondo de pared blanco, lo mismo ocurre con la base en la cual se colocan tirantes en lugar de tableros. Esto último dado que las cajoneras cubren la base.

- c) Instalación de Estructura.-La instalación o empotramiento de los muebles bajos y closets es similar, sin embargo para los muebles altos de la cocina se necesitan colgadores (sistema mecánico de arriostre).

#### *Materiales*

- Tarugo
- Tornillo rosca lata
- Pernos
- Broca copa
- Patas
- Colgadores

#### *Herramientas*

- Percutor
- Wincha
- Nivel
- Regla

Muebles Bajos.- Los muebles de closets se empotran a la pared y no se tienen mayor problema, sin embargo, los muebles de cocina se ubican sobre un contra zócalo o se alistan con patas del piso. Esto se da por la humedad que existe en la cocina por la constante limpieza de pisos, el melamine puede sufrir grandes daños a largo plazo.

Se procede a trazar la posición del mueble con ayuda de una wincha y regla. El mueble bajo que tiene el lavadero se cruza con las salidas de desagüe y agua. Tomamos la medida de la posición de la tubería en el mueble y se perfora con un percutor con broca de copa. Teniendo preparado el mueble se procede a ubicar dos puntos en cada compartimento del mueble. Perforamos la trasera del mueble con un taladro la melamine hasta llegar al muro. Obtenido el orificio en el muro le presionamos un tarugo para que reciba el tornillo. Volvemos a cuadrar el mueble y se inserta un tornillo con el percutor. Para el caso de muebles individuales pero que se posicionan juntos, se utilizan pernos con tapas.

Los muebles de closets además de las cajoneras y colgadores, en algunos casos, se diseñan maletas en la parte superior para optimizar el uso del espacio. En este caso se utilizan tirantes verticales y horizontales para cubrir estos compartimentos con puertas elevadas.

Muebles Altos.- Los muebles de cocina llevan muebles altos los cuales pueden ser colocados como los muebles altos, solo usando tarugos y tornillos. Sin embargo, esto no es tan seguro en caso de pesos que demanden tracción excesiva

en el tornillo. Es por ello, que utilizamos colgadores, los cuales funcionan mecánicamente. Estos colgadores tienen dos componentes, uno va en el mueble y el otro en la pared.

La mueble alto tiene cuatro perforaciones donde ajustar el colgador. Tres de los cuales solo se posicionan los pivotes del colgador y el cuarto es un pivote excéntrico que cuando se gira, hace una presión en el tablero impidiendo que se salga del mismo. Los colgadores van a cada lado del mueble. El colgador funciona con dos tornillos, uno permite que el mueble se acerque más a la pared y otro regula su altura. El primer tornillo se posiciona un poco alejado del borde del mueble para poder colgarlo. El segundo tornillo se coloca al medio de su graduación para subirlo o bajarlo según se requiera.

Al igual que en el caso de los muebles bajos, debemos dibujar en la pared la posición y las medidas del mueble. Esto con ayuda de un nivel y regla para prevenir desniveles. También, se mide y dibuja la posición del colgador que va empotrado a la pared. Finalmente, colgamos el mueble y se ajustan los tornillos para acercarlo al muro y para enderezarlo utilizando el nivel, verificando su verticalidad.

- d) Instalación de bisagras y tiradores.- Existen diferentes tipos de bisagras y modelos de tiradores. El contratante provee de estos materiales a gusto del cliente.

*Materiales*

- Bisagras
- Tiradores
- Tornillo

*Herramientas*

- Percutor
- Wincha
- Nivel

Bisagras.- La puerta del mueble viene preparada con perforaciones superficiales donde se presiona la bisagra y luego se aseguran los tornillos. Se verifica si la puerta está bien posicionada y si cierra apropiadamente. De lo contrario se revisa que es lo que necesita. En el caso que se encuentre muy elevada, se desajustan los tornillos del mueble y no de la tapa para levantar o bajarla. Cuando se obtenga la posición deseada se ajustan de nuevo los tornillos.

Si la puerta con el tablero lateral están muy juntos y no se puede cerrar, desajustamos el tornillo que se encuentra en medio de los tornillos del tablero para regular la distancia. Una vez obtenido el espaciamiento necesario se vuelve a ajustar.

Tiradores.- Los tiradores existen de todos los modelos y colores. Se colocan tanto en las tapas como en los cajones. A continuación mostrare el procedimiento general sencillo y corto para instalarlo. El tablero es perforado con un percutor en los orificios donde se asegurarán los tiradores. Es preferible por seguridad emplear un taco para sujetar el tablero durante la perforación. Finalmente se sujeta el tirador con tornillos. Existen tiradores de un tornillo o de dos a más.

- e) Instalación de Cajones y Repisas.- Los cajones se arman de igual manera que las estructura de los muebles y las repisas se encuentran cortadas a medida. Para el caso de los cajones existan varios sistemas para hacerlas correr porque son móviles. Las repisas pueden ser atornilladas o ajustadas con ganchos.

#### *Materiales*

- Correderas
- Tornillo
- Ganchos

#### *Herramientas*

- Percutor
- Wincha
- Nivel

Cajones.- Los cajones tienen diseños de acuerdo al gusto del cliente, en algunos casos la tapa es más grande que el fondo y más alto que los laterales. Una vez armado se instalan las correderas, en este caso, en los laterales del mueble y en el cajón.

Repisas.- Las repisas pueden colocarse durante la modulación de la estructura, sin embargo, los tableros laterales están provistos de agujeros para regular la altura de la repisa a gusto y comodidad del cliente según su uso. Es entonces que se prefiere utilizar pines en L que se ajustan en los agujeros en la parte delantera y en la parte trasera solo un pin sobresaliente para sostener la repisa.

Los tableros de melamine se compran en medidas estándares de 2.14x2.45m los cuales son cortados a medida de las piezas que se requieran para el mueble, una vez cortadas se procede a pintar los cantos visibles en una maquina enchapadora. Los tableros de fondo pueden ser de melamine o de nordex. Además, se diferencia cada pieza y se prepara con perforaciones superficiales para recibir los accesorios y

unirse los tableros entre sí. Al finalizar la instalación de repisas, cajones y listones se procede a cubrir los tornillos y orificios que no fueron usados con tapacantos del mismo color que el material. Entre la instalación de la estructura hay un tiempo de espera antes de continuar con los acabados se mueble.

### 3.4.2 CUADRILLAS Y RENDIMIENTOS

Los rendimientos que se colocan son aproximados dado que cada edificio e incluso cada departamento tienen diferentes diseños que demandan mayor o menor tiempo de acuerdo a su complejidad. En el caso de cocinas la estructura puede ser más voluminosa que los closets pero tienen menor complejidad y debido al gran espacio del que se dispone se puede avanzar rápido. Sin embargo, en el caso de los closets pasa lo contrario, los espacios son más reducidos y la estructura puede ser más complicada. Por ello, el tiempo en los dos casos se promedia que toma el mismo tiempo de medio día de trabajo laboral

Tabla 14. Cuadrillas y rendimientos en Muebles de Cocina y Closets.

Modulación e Instalación de Estructura	Instalación de Puertas, Cajones, Repisas y Tiradores
<ul style="list-style-type: none"> <li>•Cuadrilla: 1 operario</li> <li>•Rendimientos:</li> <li>•Cocina 4 horas</li> <li>•Closets 4 horas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Cuadrilla: 1 operario</li> <li>•Rendimientos:</li> <li>•Cocina 4 horas</li> <li>•Closets 4 horas</li> </ul>

### 3.4.3 PÉRDIDAS DE TRANSFORMACIÓN, FLUJO Y VALOR

Tabla 15. Pérdidas en Muebles de Cocina y Closets.

	Transformación	Flujo	Valor
<b>Tipos de Recursos</b>	Pérdida de Materiales	Pérdida de Tiempo y Espacio	Pérdida de Calidad y Valor
<b>Residuos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El uso no óptimo de piezas de melamine en el taller que aumenta costes o en obra</li> </ul>	En el flujo de trabajo <ul style="list-style-type: none"> <li>• Remetrado es el trabajo innecesario de medir 1x1 los</li> </ul>	Producto principal <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Falta de calidad por derrames de químicos de pegamentos de</li> </ol>

	<p>solicitan más repisas o cajones por adicionales.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Uso no óptimo de maquinaria, energía y trabajo para la modelación cuando se tienen superficies desplomadas.</li> <li>• Cambiar el material instalado por quiños de otras actividades.</li> </ul>	<p>materiales que llegan a la obra.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Esperas luego de la instalación de la estructura por llegada de otras actividades que deben agilizarse.</li> </ul> <p>En el flujo de productos</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Espacio no trabajado por espera de actividades.</li> <li>• Materiales no procesados cuando llegan incompletos a obra para modularlos.</li> <li>• Cambios por errores en diseños.</li> </ul>	<p>otras actividades o quiños en el mueble.</p> <p>2. Falta de uso previsto, cambios en el mueble por aparatos empotrados o adiciones al diseño.</p> <p>Subproducto</p> <p>3. Lesiones por levantar los muebles altos.</p>
--	---	--	--

### 3.4.4 VALUE STREAM MAPPING

El mapeo se realizó para los muebles de melamine de los baños. Los rendimientos ya los vimos en anteriormente y conocemos la cantidad de departamentos que tiene el proyecto.

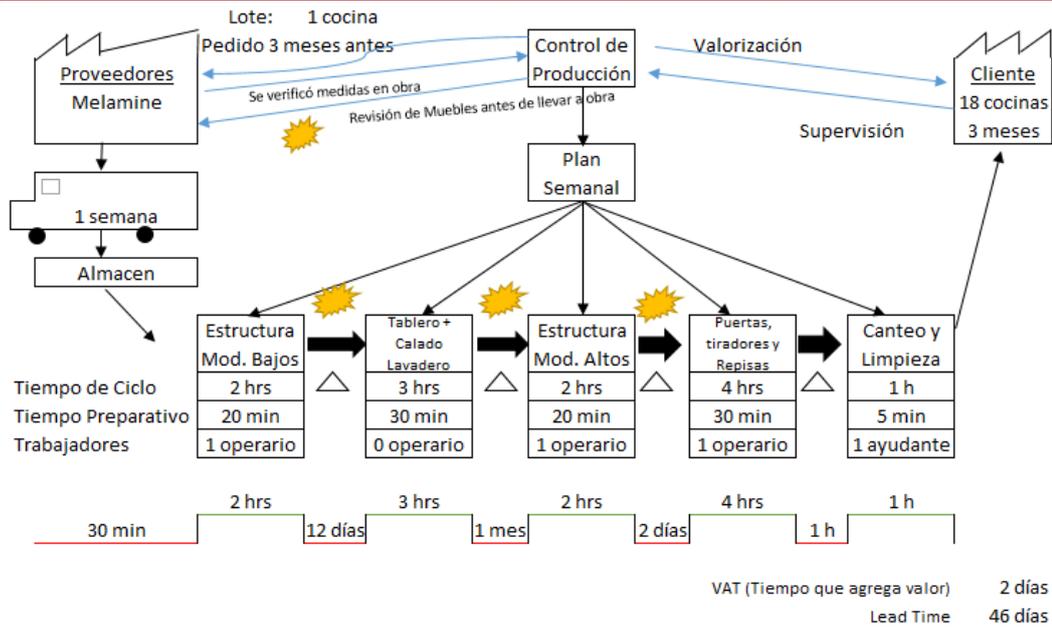


Diagrama 14. Mapeo de Cadena de Valor Actual de Muebles de Cocina.

En la encuesta que se realizó se observan tiempos diferentes debido a las distintas circunstancias.

Tabla 16. Encuesta en Muebles de Cocina y Closets

Partida	Duración en días de la Partida						Promedio	Desviación Estandár
	Obra 01	Obra 02	Obra 03	Obra 04	Obra 05	Obra 06		
Mueble de cocinas	85	53	29	36	29	52	47	21

Factores externos que afectan la Partida de Muebles de Cocina y Closet.- En el caso que el mueble vaya empotrado al muro, la superficie debe tener un aplome correcto que no produzca un esfuerzo en el nordex o melamine dado que se deformara y podría fisurarse dando un mal aspecto al mueble. El diseño final del mueble puede verse diferente al dibujo inicial que se presenta para la venta, por lo que el cliente prefiera modificarlo para su comodidad. Los tiradores o bisagras también pueden ser cambiados por temas de practicidad. Además, para finalizar la instalación de los acabados es preferible terminar las actividades que ocasionen deterioros.

### 3.5 DIAGRAMA DE FLUJO DE INTEGRACIÓN DE PROCESOS

Este diagrama de flujo se elaboró en base a la información recopilada en la obra. Según lo que se investigó, aún faltaban en la programación varias actividades que comprometen el proceso o simplemente se incluyen como buffer de tiempo sin

describirlo como actividad. La limpieza sigue siendo parte de las actividades en general.

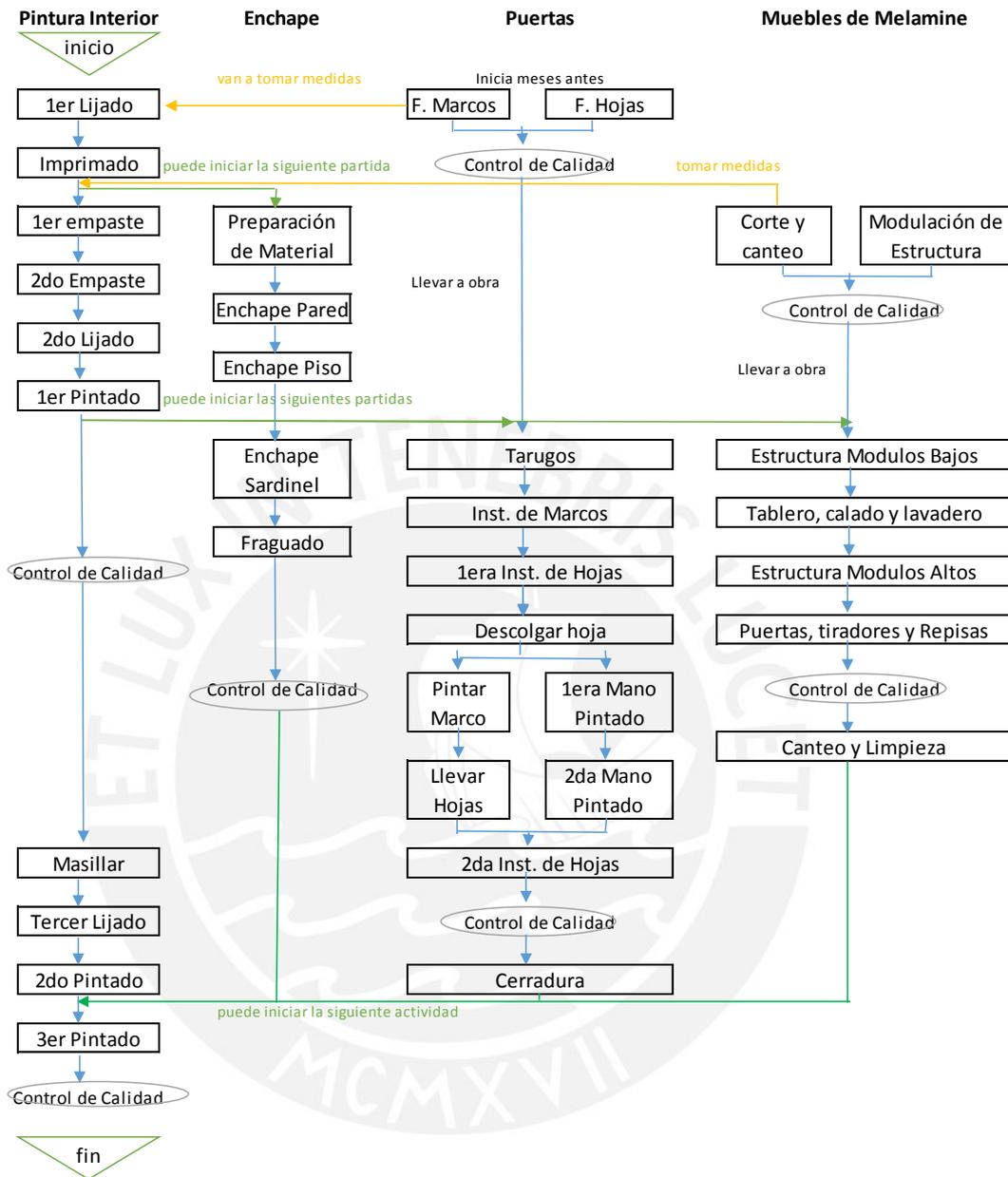


Diagrama 15. Flujo de las Cuatro Partidas.

#### 4. LA PROBLEMÁTICA EN LA FASE DE ACABADOS

Uno de los problemas más resaltante de esta etapa es la cantidad de partidas y sus características propias que no siempre tienen un inicio y fin claro para los planificadores de las obras. El manejo de cada subcontratista es diferente y tienen inicios de producción diferente, sobre todo cuando contempla la fabricación de algún material a instalar. Otro problema relevante y cotidiano es el “diseño final” y su

compatibilización con todas actividades involucradas. Existen muchas modificaciones que pueden ocurrir a pedido del cliente pero también se observa frecuentemente detalles de acabados que no fueron especificados oportunamente y se revisan durante la ejecución de los trabajos. Sin embargo, un punto que es aún más crítico y del que poco se comenta es la falta de conocimientos específicos de cada actividad. Es cierto que los detalles de cada partida como Materiales, Herramientas, Proceso de Fabricación y Colocación son conocidas por la empresa subcontratista, y es por ello que lo contratamos. No obstante, no debemos olvidar que es necesario un pleno conocimiento de la actividad para poder realizar una programación que homologue su trabajo y permita una eficiente labor de pagos por sus servicios en cada proceso.

#### 4.1 ESTRUCTURA DE TRABAJO

La estructura de trabajo para la fase de estructura es elaborando un tren de actividades y ayudándose de una sectorización en cada piso. La sectorización permite que cada partida avance algo similar en cada sector, misma cantidad de metrado. Esto ha sido de mucha utilidad en esta parte del trabajo donde existe mucha similitud entre los pisos. Los trabajos en esta fase son muy tradicionales y artesanales. A continuación, se muestra la sectorización del estudio de caso y su respectivo tren de actividades realizada por el residente de obra, el cual se mostrará completo en el anexo 01.

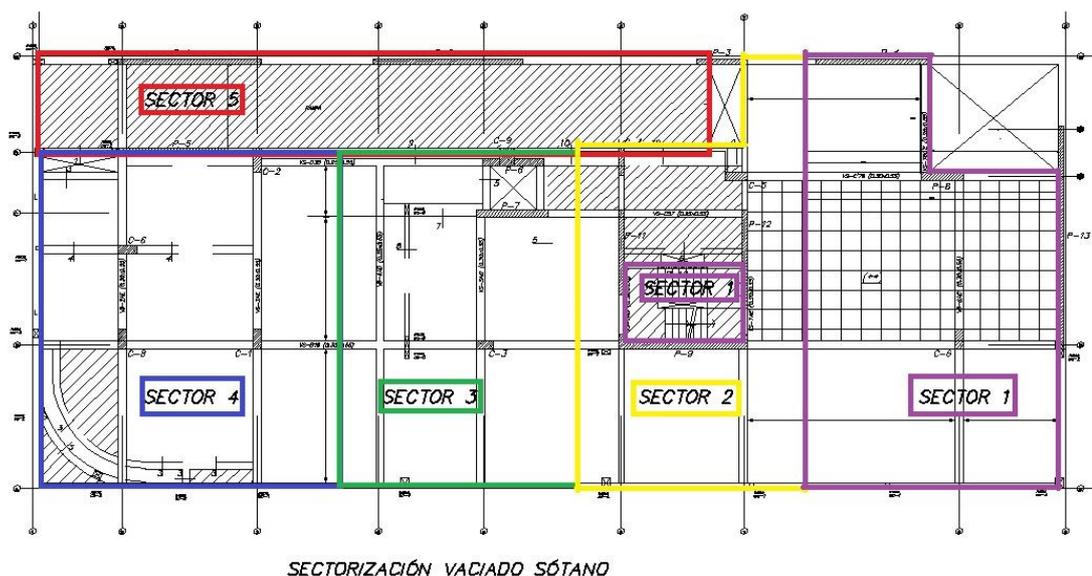


Ilustración 5. Sectorización en la etapa estructural.

Tabla 17. Tren de actividades etapa estructural.

ACTIVIDADES	DIAS HÁBILES																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ACERO ELEMENTO VERTICAL	S1	S2	S3	S4	S5	1-1	1-2	1-3	1-4	2-1	2-2	2-3	2-4	3-1	3-2	3-3	3-4	4-1	4-2	4-3
ENCOFRADO ELEMENTOS VERT	S1	S2	S3	S4	S5	1-1	1-2	1-3	1-4	2-1	2-2	2-3	2-4	3-1	3-2	3-3	3-4	4-1	4-2	4-3
CONCRETO ELEMENTOS VERT		S1	S2	S3	S4	S5	1-1	1-2	1-3	1-4	2-1	2-2	2-3	2-4	3-1	3-2	3-3	3-4	4-1	4-2
ENCOFRADO FONDO VIGAS PISOS SUP.			S1	S2	S3	S4	S5	1-1	1-2	1-3	1-4	2-1	2-2	2-3	2-4	3-1	3-2	3-3	3-4	4-1
ENCOFRADO COSTADO VIGAS PISOS SUP.			S1	S2	S3	S4	S5	1-1	1-2	1-3	1-4	2-1	2-2	2-3	2-4	3-1	3-2	3-3	3-4	4-1
ENCOFRADO TECHO PISOS SUPERIORES			S1	S2	S3	S4	S5	1-1	1-2	1-3	1-4	2-1	2-2	2-3	2-4	3-1	3-2	3-3	3-4	4-1
ACERO VIGAS PISOS SUPERIORES				S1	S2	S3	S4	S5	1-1	1-2	1-3	1-4	2-1	2-2	2-3	2-4	3-1	3-2	3-3	3-4
COLOCACIÓN LADRILLO DE TECHO				S1	S2	S3	S4	S5	1-1	1-2	1-3	1-4	2-1	2-2	2-3	2-4	3-1	3-2	3-3	3-4
TRAZO E INSTALACIONES E. y S.				S1	S2	S3	S4	S5	1-1	1-2	1-3	1-4	2-1	2-2	2-3	2-4	3-1	3-2	3-3	3-4
ENMALLADO TECHO PISOS SUPERIORES					S1	S2	S3	S4	S5	1-1	1-2	1-3	1-4	2-1	2-2	2-3	2-4	3-1	3-2	3-3
CONCRETO TECHO PISOS SUPERIORES					S1	S2	S3	S4	S5	1-1	1-2	1-3	1-4	2-1	2-2	2-3	2-4	3-1	3-2	3-3

Como se observa en la programación se planifica por piso terminado tratando de conseguir un piso por semana. Sin embargo, en la fase de acabados no ocurre lo mismo, lo que ocurre en un metro cuadrado de cocina no sucede en un metro cuadrado de dormitorio. Los subcontratistas no trabajan en todas las áreas del piso para hacer un tren de actividades. Debido a la forma del terreno y el diseño del proyecto no se puede mantener la sectorización de la fase estructural. Es aquí donde muchos prefieren no ver esta realidad y solo por experiencia ordenar las actividades para que no interfieran entre sí pero sin éxito.

#### 4.2 CONTROL DE PRODUCCIÓN

En muchos proyectos solo que plantea con el subcontratista el inicio, metrado, costo y fin de plazo, pero no se le pregunta como lo hará. A veces, es más importante para el contratista que el subcontratista cobre menos o haga el trabajo en corto plazo. Sin importar, cuanto material desperdicie y qué trabajadores lleve a la obra o cuando empiece. Por lo que, se representa su trabajo como barras con duraciones exageradas para asegurarse de llegar a tiempo al término de la obra.

Si hablamos de control, pocos son los que pueden hacer algo, el subcontratista tiene mucha independencia con tal que cumpla en el plazo semanal se vale de su condición de tener trabajos en taller. Solo se le controla la calidad en algunos casos. Los subcontratistas no presentan informes detallados de su avance como el contratista (Lookahead, índice de productividad, etc.).

La programación de muchas empresas muestra un avance en barras y no muestra el detalle de lo que se avanzará en cada etapa. Es por ello que se decidió realizar la investigación de partidas importantes del proyecto.

### 4.3 COMPARAR RESULTADOS DE ORIGINAL CON EL REAL

A continuación, se presentan los resultados del trabajo de los frentes de trabajo en la obra. Se tomó de referencia el inicio y el fin de una unidad de producción (departamento).

Tabla 18. Información del trabajo programado y el real.

ACTIVIDADES	PROGRAMADA	REAL	% DESVIACIÓN
PINTURA	64	52	-19%
COCINAS	16	26	63%
CLOSETS	4	56	1300%
PUERTAS	21	53	152%

Los desfases entre el inicio de trabajos programado con el real ocurrieron por varios motivos como diseños incompletos y revisiones, modificaciones del cliente, deficiente o pobre capacidad de contratar a tiempo, proveedores que demoran en entregar los productos o por actividades predecesoras que tardaron más de lo programado.

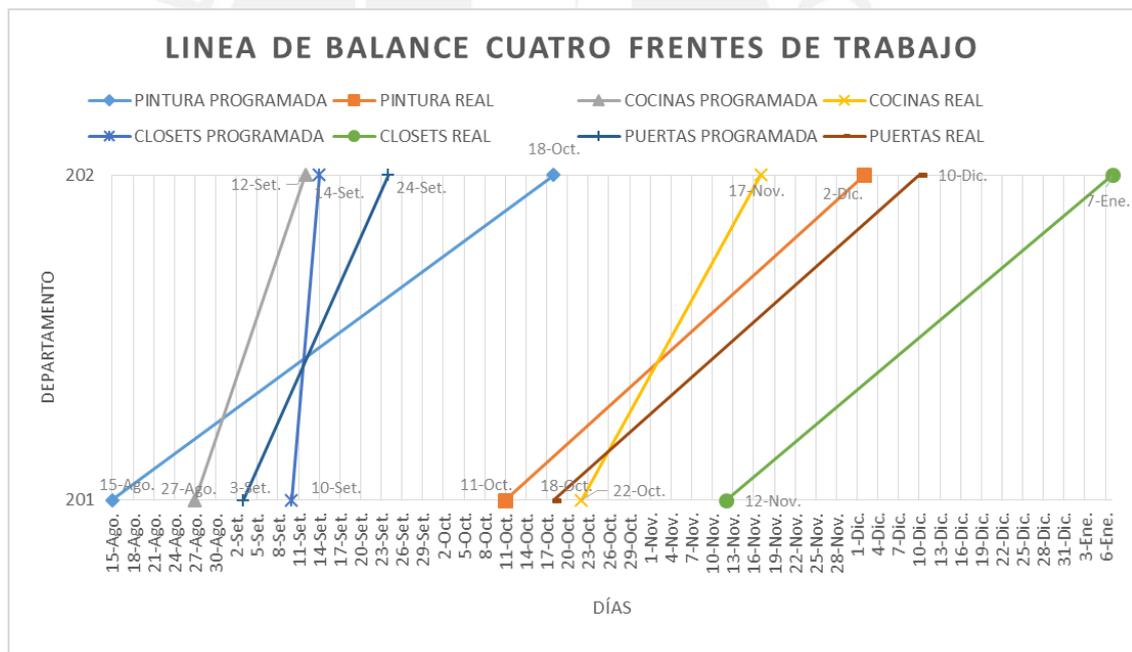


Gráfico 2. Líneas de Balance de los cuatro frentes de trabajos programados y reales.

Se observa un desplazamiento entre el trabajo programado contra el trabajo realmente realizado. La mayoría de actividades finalmente duraron más de lo programado. El cumplimiento de lo programado va disminuyendo conforme se agregan más partidas de arquitectura. La variedad de materiales que llegan a obra es muy diversos y necesita verificarse que no se haya cometido algún error en tipo,

modelo, dimensiones, etc. Al momento de colocarse en obra van apareciendo apreciaciones diferentes en el cliente y suelen requerir modificaciones. Existen muchas partidas que llegan a obra para realizar las mediciones y verificaciones finales de los espacios donde colocaran el material que ya vienen siendo elaborados en taller.

Los procesos de cada actividad son muy largos, sobre todo en pintura, además de que se tiene mucho metraje en obra esto dificulta aún más el avance. Es recomendable trabajar con acabados conocidos de manera de poder enseñarle al cliente, caso contrario preparar un piloto del departamento con esos acabados.

#### 4.4 PÉRDIDAS

Se realizó un análisis de las pérdidas que se encuentran en cada partida según Koskela. Se mostraron que en la transformación, flujo y valor hay pérdidas de materiales, tiempo, espacio, calidad y valor. A continuación, se presenta un resumen de los hechos encontrados en el estudio de caso.

##### Pérdida de Materiales

El uso no óptimo de materiales como los materiales críticos. Cuando no hay aplome en la superficie a aplicar un material se excede en su uso o produciéndose un desplome final en el acabado. Cuando se usan materiales con medidas estándares no se logra usar todo el material generándose desperdicios. Por otro lado, cuando se termina una partida los acabados se pueden maltratar por el tránsito del lugar. Se emplea materiales para proteger los pisos del tránsito luego del fraguado.

Uso no óptimo de maquinaria, energía y trabajo para cuadrar con los marcos cuando se tienen superficies desplomadas. Se presentan derrames del tarrajeo que nos apreciados hasta después del masillado por su minucia.

## Pérdidas de tiempo y espacio

### ***En el flujo de trabajo***

Se produce trabajo innecesario cuando se tiene que ir a chequear los trabajos en taller o cuando llegan materiales defectuosos de fábrica y se tiene que modificar, romper o pedir el cambio. Además, hay trabajo ineficiente en proteger las zonas de trabajo, separar piezas buenas de malas y lidiar con el desplome colocando tarugos. Se producen muchas esperas lo que en ocasiones duplica el tiempo del ciclo. Estas esperas se producen por tiempos de secado, el material no llega del taller o no hay espacio para que una partida entre a trabajar.

### **En el flujo de productos**

Debido a las esperas se tienen espacios sin trabajar lo que indica inventario debido a las causas mencionadas anteriormente. Los materiales no se procesan por estas esperas y los espacios sin trabajar. Se tienen que llevar los materiales a un almacén para que no se dañen. Por ende, se genera transporte innecesario de materiales para protegerlos, cuando no se conoce cuanto se utilizará y se llevan en exceso a zonas que no se requieren o cuando tienen desperfectos y se deben llevar al proveedor.

## Pérdidas de calidad y valor

### **Producto principal**

En consecuencia a las pérdidas anteriores se consigue en muchas ocasiones que el producto final carezca de calidad o por quijos producidos por el tránsito de otras actividades o derrames. Además, en momentos se cambia el diseño y el producto no tendrá el uso previsto.

### **Subproducto**

Estas partidas usan materiales con componentes tóxicos produciéndose emisiones nocivas por las sustancias químicas. Por otro lado pero no menos importante son las lesiones y enfermedades relacionadas al trabajo que se generan por las posturas para llegar a los techos, por el transporte de puertas o por levantar los muebles altos.

#### 4.5 CONCLUSIONES PREVIAS

Las pérdidas mencionadas ocasionan que haya muchos productos de proceso sin intervención (inventario) y también se debe a que no hay coordinación entre el ingreso y salida de las actividades hasta llegar a estorbarse produciéndose contaminaciones por materiales tóxicos o quiñes, teniendo que gastar materiales en limpieza y protección. En casos extremos trabajos rehechos por defectos producidos en obra.

Se sabe que no se puede aplicar una producción por sectorización como en la fase de estructural. Los trabajos se programan como barras gant en general. No se usa Last Planner, no se utilizan herramientas de control para estas partidas. No hay una programación semanal o por mes de las actividades que se realizaran por lo que se desorganiza el trabajo constantemente produciéndose demoras.

En conclusión, no se puede generar trenes de trabajo por piso o departamento porque tienen diferente diseño además que no se conocen los procesos detallados de las partidas.

### CAPITULO III. PROPUESTA DE MEJORA: ESQUEMA SENCILLO PARA APLICAR LAST PLANNER

Hemos visto como la fase de acabados no está preparada para llevar un control de la productividad con las herramientas del Last Planner. Esto porque no se tiene un diseño de los procesos. Por ende no se puede establecer frentes de trabajos y finalmente un Pull Planning. A continuación, se presentan recomendaciones para que se pueda controlar la producción en la fase de acabados.

#### 1. ESTRUCTURA DE TRABAJO

Se propone identificar todas las partidas necesarias en acabados y establecer unidades de producción en los cuales se diseñaran los procesos requeridos para su ejecución. En el caso de la fase estructural se escogían segmentos por piso que tenían un metrado similar en cada proceso. Sin embargo, en la fase de acabados tenemos frentes de trabajo como baños, cocinas, closets, puertas, entre otros que se repiten en cada departamento tipo.

Posteriormente, se deben diferenciar las multipartidas por ambientes. Por ejemplo, Cocinas donde se encuentran las siguientes partidas enchapes, muebles de melamine, tablero de granito, lavadero, etc. Esto permitirá organizar los procesos y dará lugar a una programación más detallada.

#### 2. SESIONES DE PULL PLANNING CON SUBCONTRATISTAS

Nuestra planificación de obra debe establecer metas que puedan ser cumplidas por el subcontratista es por ello que debemos conocer las condiciones de trabajo del subcontratista. Es importante gestionar materiales que la empresa contratista proporciona al subcontrata para la ejecución de sus trabajos. La claridad de los deberes del subcontratista al igual que las responsabilidades del contratante son muy importantes.

La subcontrata ayudará en la programación de materiales para realizar su trabajo sin interrupciones. Se deben establecer todas las restricciones que puedan ocurrir. Los procesos de cada actividad del subcontratista involucra entregables parciales los que

pasaran por una revisión del contratista quien autorizara el inicio del siguiente proceso.

Finalmente, se desarrollará una planificación de las actividades que simula el trabajo que se realizará en campo. Esta planificación contiene una organización de las actividades en secuencias empleando frentes de trabajo. La empresa contratante necesita que dicha planificación que se asemeje más a la realidad, para lo cual debe estar basado en las características de los grupos de trabajo. El subcontratista debe ubicarse en la producción y asumir su responsabilidad.

A continuación, se presenta la estructura de trabajo sugerida empleando cinco frentes de trabajo del estudio de caso de las cuatro partidas de acabados. El proyecto plantea las siguientes actividades en cada frente de trabajo. En base a ello se podrá realizar la programación con ayuda de las líneas balance.

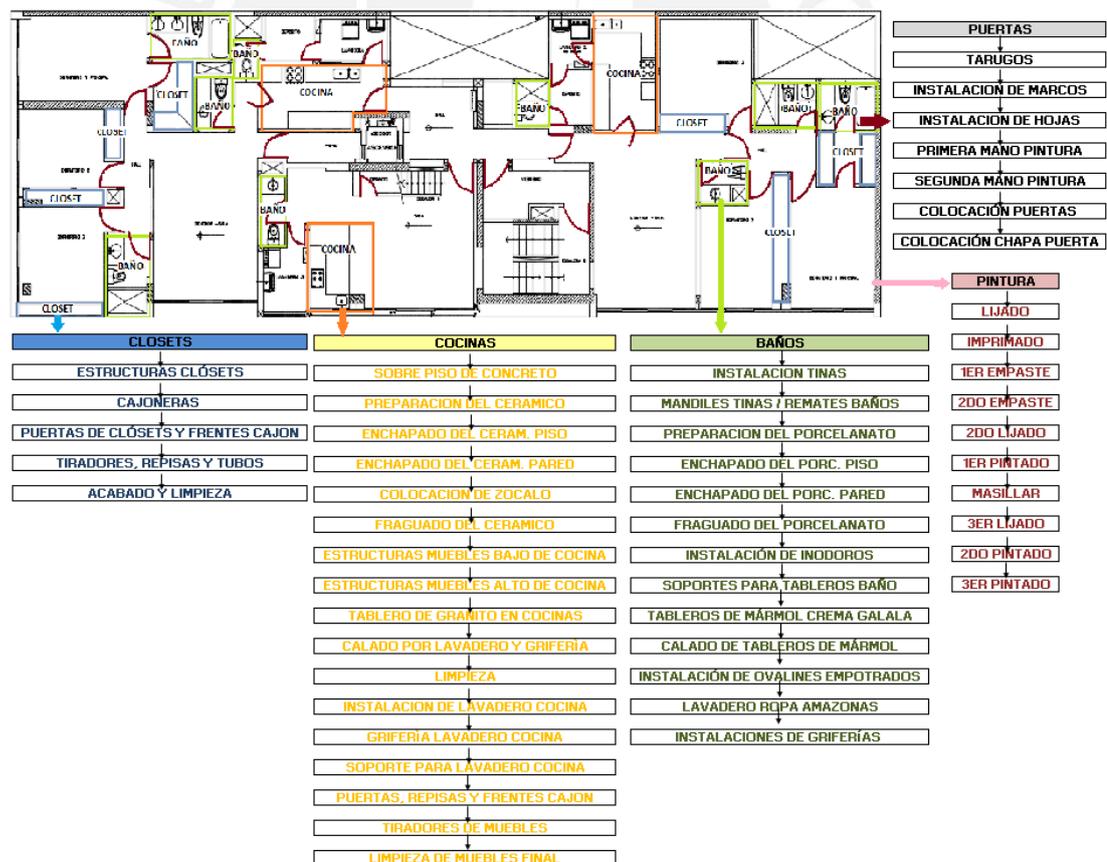


Ilustración 6. Frentes de trabajo en planta típica.

La estructura de trabajo por ambiente es posible ya que no existen cruces físicos y se pueden realizar trabajos paralelos. Sin embargo, puertas y pintura no entran a esta estructura de trabajo.

### **3. CONOCER RENDIMIENTOS**

Toda empresa subcontratada tiene su propio manejo de trabajo. La contratación va de la mano con la observación de su trabajo para identificar virtudes y desaciertos en el desarrollo de la actividad. La empresa subcontratada trabaja con herramientas propias las cuales agilizan su trabajo. Es preferible conocer al detalle su modo de desarrollo de manera de justificar sus mejores rendimientos y su bajo costo. Conocido el proceso de ejecución de subcontrata, se identificarán los cuellos de botella de su actividad al igual que el material crítico que obstaculicen el buen rendimiento de la producción. Esto asegurará su performance en la ejecución de sus trabajos en la obra a iniciar.

### **4. USO DE LINEAS BALANCE POR CADA FRENTE DE TRABAJO**

Las líneas balance se usan para la planificación, reprogramación y control de las partidas (avance y rendimiento) y sus procesos según su ubicación y el tiempo. Se pueden obtener velocidades de producción y comparación entre varias actividades. Se identifican las discontinuidades entre actividades, dependencias, hitos y puntos críticos. Las líneas balance permiten la comparación entre cronogramas planeados, reales y proyectados.

Las líneas balance permiten tener todo a una sola vista y mejorar la utilización del espacio e identificar las tareas comunes para varios sitios. Al introducir variaciones en la programación se podrá ver las repercusiones en las demás actividades. Se puede reducir el plazo de entrega de la obra. Se pueden disminuir los riesgos al conocer mejor la programación y gestionar mejor los recursos. Con este esquema se podrán tomar mejores decisiones viendo todo el conjunto.

De este modo, en el estudio de caso se pueden emplear los frentes de trabajo y utilizar la herramienta de líneas balance para la programación de la fase de acabados. Se consideraron las duraciones de actividades que plantearon los responsables de obra y el inicio real de las actividades. Por lo cual, se observa en el

siguiente gráfico 2 el tiempo que demora terminar el segundo piso. Se puede pensar que como es el inicio de esta fase se están considerando demasiadas holguras por temas logísticos y porque está terminando la fase estructural y necesitan liberar ese espacio.

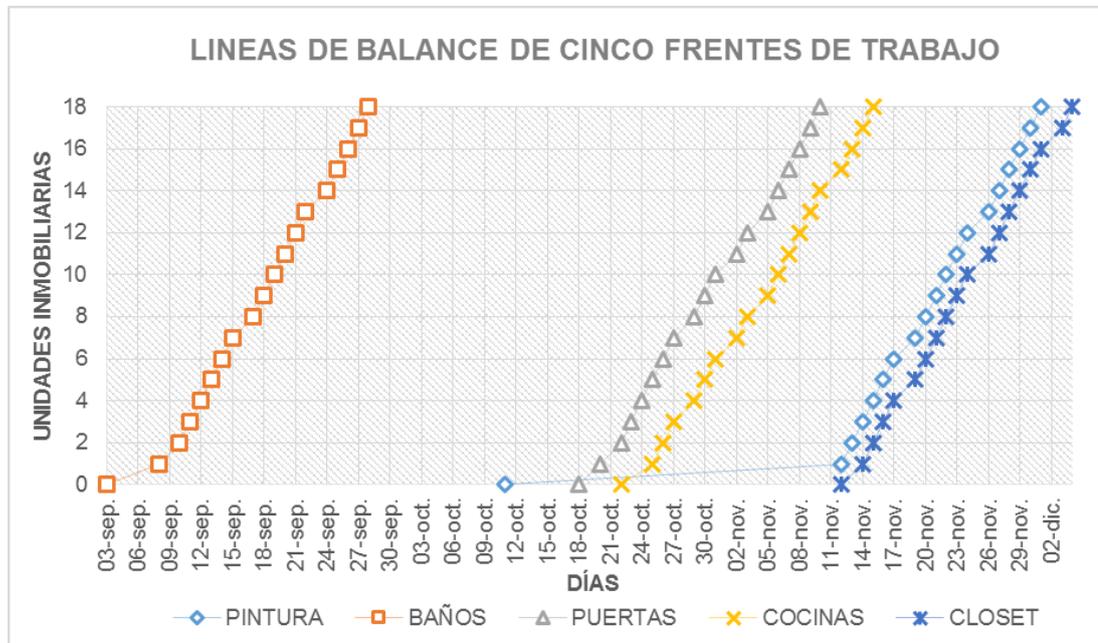


Gráfico 3. Líneas de Balance de Cinco Frentes de Trabajo.

Se propone realizar una programación por cantidad de unidades inmobiliarias dado que el negocio se basa en cuantos se comercializan. Un departamento sin todos los acabados no se puede entregar al cliente.

## 5. INNOVACIÓN Y RECOMENDACIONES PARA MEJORAR PROCESOS

Una fórmula efectiva de reducir el tiempo de cada actividad es estudiarla y encontrar soluciones a los cuellos de botella. Reemplazando equipos, reduciendo el tiempo entre etapas o variando la cuadrilla, entre otros. Esto genera una reformulación el proceso en sí a fin de optimizarlo. Estas innovaciones no siempre son fáciles de aplicar y difundirlo en varios proyectos. Para tener éxito, es bueno buscar innovaciones que se han podido aplicar en otros proyectos dentro y fuera de nuestro país.

Existen muchos países que han logrado una industrialización de la construcción facilitando sus etapas. Es así que en países como España y Chile encontramos innovaciones que llaman la atención porque emplean materiales que se comercializan en nuestro país y se pueden aplicar.

## 5.1 PUERTAS PREFABRICADAS CON JAMBAS

### Prefabricado

Las puertas y ventanas ya se encuentran disponibles en tienda. Ya no sería necesario pedirlos en taller y realizar una reserva dando adelantos. Solo se necesita escoger el modelo y las llevan a la obra. Sin embargo, dado que son medidas estandarizadas, el diseño debe haber sido pensado para las medidas que se comercializan. Además, se desea tener consideraciones en las tolerancias y calidad final.



Ilustración 7. Puertas prefabricadas con Jambas.

### Espuma de Poliuretano

Es un material durable que se puede aplicar en espacios pequeños de descuadre de marcos. Mediante una reacción química se extiende en el espacio y adopta la forma que se requiere. Posee propiedades térmicas y cierta resistencia al fuego y la humedad.

Normativa: La norma indica que se debe emplear carpintería de puerta de material compatible a la cerradura. En el caso de las ventanas, el alfeizar debe ser por lo menos 0.90m de altura. En caso contrario, tener ventana fija templada o con una

baranda de protección. Si el vidrio es crudo debe tener carpintería de madera, pero si se utiliza otro material el vidrio debe ser templado. La instalación de las ventanas debe tolerar las dilataciones y sismos. Además, las puertas con superficies vidriadas deben tener bandas señalizadoras (RNE A.020 Art.19). Para el desplome del marco, se considera una tolerancia de 0.3% de su ancho y alto. En el caso de la hoja de puerta, se estima un desplome de  $\pm 1.5\text{mm}$  de rectitud y  $\pm 3\text{mm}$  de planeidad.

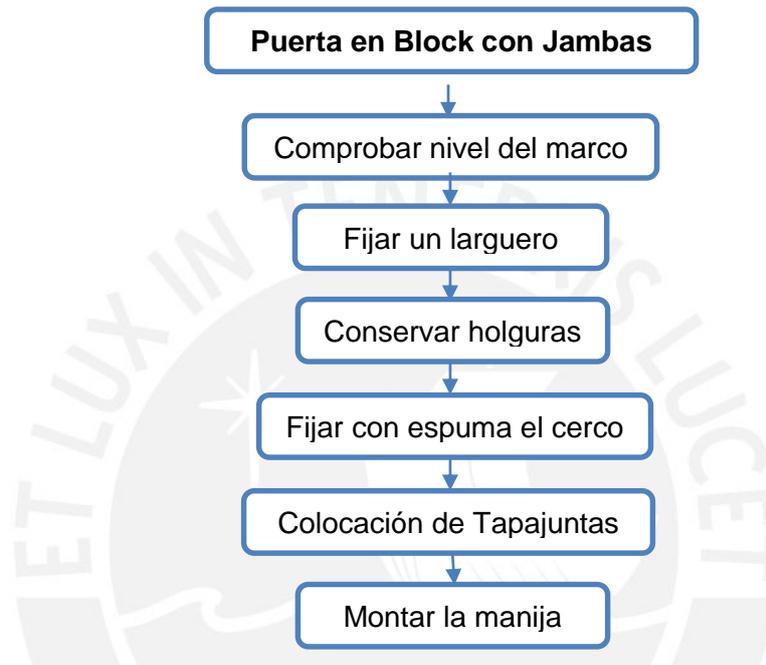


Diagrama 16. Proceso Constructivo Puerta en Block

a) Comprobar nivel del marco

Se desembala la puerta en block y se desprende el marco de la hoja de puerta. Seguidamente, se revisa el aplome de los marcos con ayuda de un nivel de mano y midiendo las diagonales del espacio. A continuación, se coloca el marco y se ajusta utilizando cuñas de madera, partiendo de la premisa que se fije al piso. Siempre revisando el nivel.

b) Armado de la Estructura

Se procede a fijar el larguero que corresponde a las bisagras. Se inicia reemplazando los tornillos medios de cada bisagra por tornillos de mayor longitud, de manera que se empotre al derrame de muro. Posteriormente, se coloca la hoja de la puerta, colgándola en las bisagras.

c) Conservar holguras

Se reemplaza un tornillo de la cerradura por un pasante, conservando la holgura colocando una cuña. Se atornilla el nuevo pasante sin atravesar las cuñas. Se utilizan las cuñas necesarias a fin de garantizar las tolerancias del block, tanto entre la hoja de puerta y el marco, como entre el marco y el derrame de muro.

d) Fijar con espuma el cerco

Se fijara el marco al derrame de puerta con la ayuda de la espuma de poliuretano en función al espacio a cubrir. Se espera el tiempo necesario a que seque. Luego, se retiran las cuñas y con una cuchilla se cortará la espuma sobrante.

e) Colocación de Tapajuntas o Molturas

Se unen mediante lazos al interior de cada esquina, si el corte de la moldura es a inglete. En cambio, si la moldura está cortada a testa, las uniones se realizaran mediante espigas. Luego, se verifica que encaje en el marco. Finalmente, se aplica pegamento o espuma en la pared y se fija la moltura con clavos sin cabeza si se requiere encajando la moltura en las ranuras. Este proceso se repite en el otro lado de la puerta.

f) Montar la manija

La puerta ya tiene instalada la cerradura, solo hace falta colocar la manija. Para finalizar, solo se verifica que todo esté bien instalado.

Ventajas de este proceso contra el sistema tradicional

La puerta que se adquiere estará lista para su instalación y entrega final al cliente porque está acabada y pintada. Se cuenta con un catálogo específico al cual el diseño se tiene que acoplar. Las dimensiones son estándares y no necesariamente tiene que estar en concordancia con el marco. No se necesita estar pendiente del proceso de fabricación. Se trabaja con una empresa confiable que realiza sus labores de manera industrial y que entrega el pedido en obra. El empotramiento del mueble es muy rápido y la puerta llega lista para colocar en obra. Se evita tener que romper el vano de la puerta por algún desplome porque con las molturas lo cubre y da un

mejor acabado. Con este producto la instalación puede ser al final de que acaben las actividades en el interior de los ambientes, después de los pisos.

## 5.2 BASE DE MUEBLES DE MELAMINE: PATAS REGULABLES Y RODAPIÉS.

Las patas regulables se pueden utilizar en los muebles de la cocina en lugar de hacer un sobre piso de concreto que toma tiempo en encofrar, preparar y vaciar la mezcla y dejar secar. El piso se puede hacer al mismo nivel para toda la cocina. Las patas no necesitan un nivel parejo a lo largo de los muebles ya que ayudan a obtener la nivelación requerida.

Por otro lado, los sobre pisos necesitan un tarrajeo, esperar a que sequen y luego preparar el enchapado con el acabado corte cola y colocarlos, lo contrario pasa con las patas regulables. Si no es importante que se vean las patas, el piso se hará en toda la zona de cocina al igual que el enchapado y las patas irán descubiertas. Pero si se prefiere, se puede tapar el espacio entre mueble y piso con un rodapié, que se venden en variados modelos y materiales que agregará más estilo a la cocina.

Normativa: Se requiere de un alineamiento del mueble respecto de elementos terminados de la estructura de la cocina de 6mm. De igual manera, el alineamiento que debe tener respecto a un mueble contiguo debe ser de 6mm. Asimismo, para las superficies que servirán como mesones o para apoyar un objeto respecto del pavimento debe ser de 1cm por cada 3m.



Ilustración 8. Patas regulables y rodapiés.

### 5.3 PINTURA CON SOPLETE

La partida de pintura tiene muchos procesos necesarios como el lijado y el empastado para obtener una superficie lisa sin grumos. Sin embargo la aplicación de la pintura se puede mejorar utilizando una herramienta que ahorre horas hombre, esfuerzo y dinero. Se optimiza la producción de superficie pintada, no se demorará en pintar esquinas de columnas y vigas o áreas de acceso reducido. Se requiere de menos esfuerzo porque el operario no debe ejercer presión con el rodillo sobre la pared, en tanto el trabajo resulta menos incómodo. Se reduce las horas hombre y el uso de material se optimiza por lo que se invierte menos. Además, un mejor acabado uniforme por tener un rocío constante y uniforme.



Ilustración 9. Aplicación de pintura con soplete.

La preparación de la pintura es importante, se deben seguir las instrucciones para tener un acabado sin chorreaduras o imperfecciones. La viscosidad es importante según el tipo de soplete, si es demasiado espesa o líquida. Se debe colar la pintura a través de un filtro con el fin de evitar grumos que obstruyan la boquilla del soplete. La aplicación de la pintura debe ser con un espacio de hasta 20-25cm de distancia de la superficie a aplicar. Se recomienda pasar primero de forma vertical y luego de forma horizontal. Finalmente con una inversión en equipos se puede mejorar el rendimiento de la pintura consiguiendo hasta 5m<sup>2</sup>/min de aplicación directa.

## CAPITULO IV.- APLICACIÓN A UN PROYECTO

### 1. ALCANCE DEL PROYECTO

La aplicación de la propuesta de mejora se efectuó en un proyecto de edificio multifamiliar ubicado en la ciudad de Lima y que tiene 15 pisos y 4 sótanos que ya inicio obras. El edificio contará con 63 departamentos entre 56 flats y 7 duplex. Además tendrá 44 estacionamientos y uno para visitas. El primer piso es para áreas comunes y por lo tanto los departamentos se ubican a partir del 2do piso con tipología de 1, 2 y 3 dormitorios.

### 2. ESTRUCTURA DE TRABAJO

La estructura de trabajo se organizará por frentes de trabajo y se llevará un control de avance por partida identificada como por ejemplo Pintura, Cocinas, Closets, Baños y Puertas. Entre los cuales se segmentará por piso y su respectivo departamento. Es de mucha ayuda tener plantas típicas pero se debe identificar bien la peculiaridad de cada zona de trabajo. Se debe reconocer que los frentes de trabajo resaltados no son los únicos que se deben tomar en cuenta en una programación pueden haber más frentes de trabajo como son las ventanas, pisos, luminarias entre otros. Por lo tanto, cabe especificar que solo a nivel de programación con los frentes de trabajo propuestos no se valida en campo.

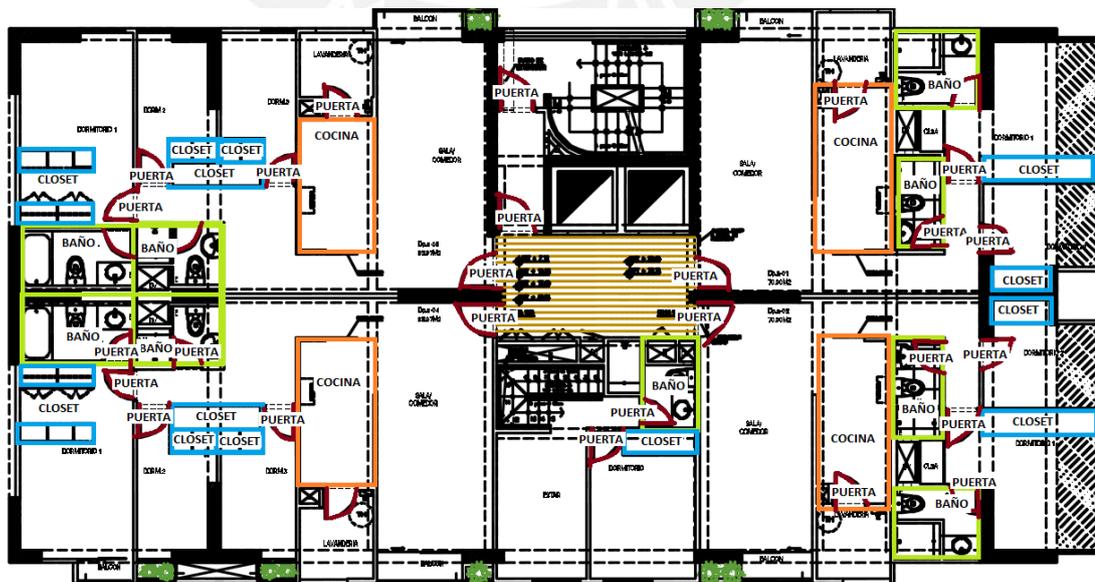


Ilustración 10. Planta típica de la Obra.

Se recomienda emplear una codificación para cada frente de trabajo por piso. Es decir, la codificación debe referenciar al frente de trabajo, el piso y el tipo o modelo. Por ejemplo, si queremos identificar la cocina del segundo piso del departamento tipo A se puede emplear el siguiente código K2A.

### 3. LINEAS DE BALANCE

Se toma en cuenta la información obtenida en las visitas a obra, entrevistas y la investigación de las cuatro partidas para realizar la programación de la fase de acabados considerando los rendimientos con los que se deben trabajar. A comparación del estudio de caso, se aplicaron algunas mejoras con el equipo que elabora el planeamiento de la obra. Por lo cual, se pudo organizar los frentes de trabajo de acuerdo a las fechas de entrega y hacia el inicio de cada actividad. Se generó el siguiente tren de actividades que se podrá ver completo en el anexo 02.

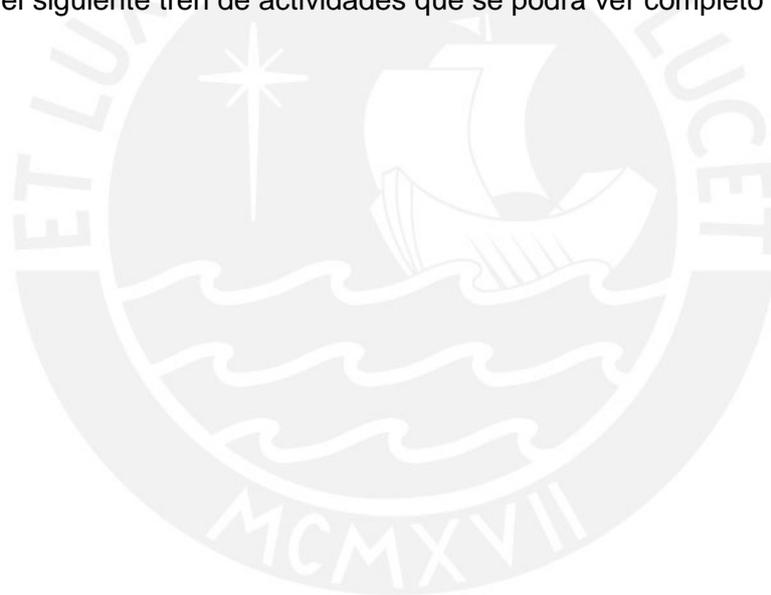


Tabla 19. Tren de Actividades Aplicación a un Proyecto.

TREN DE ACTIVIDADES	DÍAS																				
	03-ago	04-ago	05-ago	06-ago	07-ago	08-ago	09-ago	10-ago	11-ago	12-ago	13-ago	14-ago	15-ago	17-ago	18-ago	19-ago	20-ago	21-ago			
<b>PINTURA</b>																					
LIJADO	PI2A	PI2B	PI2C	PI2D	PI2D	PI3A	PI3B	PI3D	PI3E	PI4A	PI4B	PI4C	PI4D	PI4E	PI5A	PI5B	PI5D				
IMPRIMADO		PI2A	PI2B	PI2C	PI2D	PI2D	PI3A	PI3B	PI3D	PI3E	PI4A	PI4B	PI4C	PI4D	PI4E	PI5A	PI5B				
1ER EMPASTE			PI2A	PI2B	PI2C	PI2D	PI2D	PI3A	PI3B	PI3D	PI3E	PI4A	PI4B	PI4C	PI4D	PI4E	PI5A				
2DO EMPASTE				PI2A	PI2B	PI2C	PI2D	PI2D	PI3A	PI3B	PI3D	PI3E	PI4A	PI4B	PI4C	PI4D	PI4E				
2DO LIJADO					PI2A	PI2B	PI2C	PI2D	PI2D	PI3A	PI3B	PI3D	PI3E	PI4A	PI4B	PI4C	PI4D				
1ER PINTADO						PI2A	PI2B	PI2C	PI2D	PI2D	PI3A	PI3B	PI3D	PI3E	PI4A	PI4B	PI4C				
MASILLAR																PI2A	PI2B	PI2C			
3ER LIJADO																	PI2A	PI2B			
2DO PINTADO																		PI2A			
3ER PINTADO																					
<b>COCINA</b>																					
ESTRUCTURAS MUEBLES BAJO DE COCINA								K2A	K2B	K2C	K2D	K2D	K3A	K3B	K3D	K3E	K4A	K4B			
ESTRUCTURAS MUEBLES ALTO DE COCINA								K2A	K2B	K2C	K2D	K2D	K3A	K3B	K3D	K3E	K4A	K4B			
TABLERO DE GRANITO EN COCINAS								K2A	K2B	K2C	K2D	K2D	K3A	K3B	K3D	K3E	K4A	K4B			
CALADO POR LAVADERO Y GRIFERÍA									K2A	K2B	K2C	K2D	K2D	K3A	K3B	K3D	K3E	K4A			
LIMPIEZA									K2A	K2B	K2C	K2D	K2D	K3A	K3B	K3D	K3E	K4A			
INSTALACION DE LAVADERO COCINA									K2A	K2B	K2C	K2D	K2D	K3A	K3B	K3D	K3E	K4A			
GRIFERÍA LAVADERO COCINA										K2A	K2B	K2C	K2D	K2D	K3A	K3B	K3D	K3E			
PUERTAS, REPISAS Y FRENTE CAJON										K2A	K2B	K2C	K2D	K2D	K3A	K3B	K3D	K3E			
TIRADORES DE MUEBLES											K2A	K2B	K2C	K2D	K2D	K3A	K3B	K3D			
LIMPIEZA DE MUEBLES FINAL											K2A	K2B	K2C	K2D	K2D	K3A	K3B	K3D			
SOPORTE PARA LAVADERO COCINA																					
<b>CLOSETS</b>																					
ESTRUCTURAS CLÓSETS									C2A	C2B	C2C	C2D	C2D	C3A	C3B	C3D	C3E	C4A	C4B		
CAJONERAS									C2A	C2B	C2C	C2D	C2D	C3A	C3B	C3D	C3E	C4A	C4B		
PUERTAS DE CLÓSETS Y FRENTE CAJON									C2A	C2B	C2C	C2D	C2D	C3A	C3B	C3D	C3E	C4A	C4B		
TIRADORES, REPISAS Y TUBOS										C2A	C2B	C2C	C2D	C2D	C3A	C3B	C3D	C3E	C4A		
ACABADO Y LIMPIEZA										C2A	C2B	C2C	C2D	C2D	C3A	C3B	C3D	C3E	C4A		
<b>BAÑOS</b>																					
PREPARACIÓN DEL MATERIAL									B2A	B2B	B2C	B2D	B2D	B3A	B3B	B3D	B3E	B4A	B4B		
ENCHAPADO PARED										B2A	B2B	B2C	B2D	B2D	B3A	B3B	B3D	B3E	B4A		
ENCHAPADO PISO										B2A	B2B	B2C	B2D	B2D	B3A	B3B	B3D	B3E	B4A		
FRAGUADO											B2A	B2B	B2C	B2D	B2D	B3A	B3B	B3D	B3E		
INSTALACIÓN DE INODOROS												B2A	B2B	B2C	B2D	B2D	B3A	B3B	B3D		
SOPORTES PARA TABLEROS BAÑO												B2A	B2B	B2C	B2D	B2D	B3A	B3B	B3D		
PANELES DE SUPERBOARD DEBAJO DE TABLEROS												B2A	B2B	B2C	B2D	B2D	B3A	B3B	B3D		
TABLEROS DE MÁRMOL CREMA GALALA													B2A	B2B	B2C	B2D	B2D	B3A	B3B		
CALADO DE TABLEROS DE MÁRMOL													B2A	B2B	B2C	B2D	B2D	B3A	B3B		
INSTALACIÓN DE OVALINES EMPOTRADOS														B2A	B2B	B2C	B2D	B2D	B3A		
LAVADERO ROPA AMAZONAS															B2A	B2B	B2C	B2D	B2D		
INSTALACIONES DE GRIFERÍAS																B2A	B2B	B2C	B2D		
<b>PUERTAS</b>																					
TARUGOS															PT2A	PT2B	PT2C	PT2D	PT2D	PT3A	
INSTALACION DE MARCOS															PT2A	PT2B	PT2C	PT2D	PT2D	PT3A	
INSTALACION DE HOJAS Y BISAGRAS															PT2A	PT2B	PT2C	PT2D	PT2D	PT3A	
DESCOLGAR HOJA															PT2A	PT2B	PT2C	PT2D	PT2D	PT3A	
PRIMERA MANO MARCO															PT2A	PT2B	PT2C	PT2D	PT2D	PT3A	
PRIMERA MANO HOJAS															PT2A	PT2B	PT2C	PT2D	PT2D	PT3A	
SEGUNDA MANO HOJAS																PT2A	PT2B	PT2C	PT2D	PT2D	
SEGUNDA INSTALACION DE HOJAS																	PT2A	PT2B	PT2C	PT2D	
CERRADURA																	PT2A	PT2B	PT2C	PT2D	

En el gráfico 3, se observan las actividades de la partida de pintura para los 5 flats del segundo piso. Se tiene en cuenta el rendimiento de las cuadrillas de trabajo y los tiempos de secado. Las líneas de Balance permiten ver en un mismo gráfico cuanto tiempo tomará cada actividad, las actividades que se realizan un mismo día y los trabajos de cada departamento y cuanto duran.

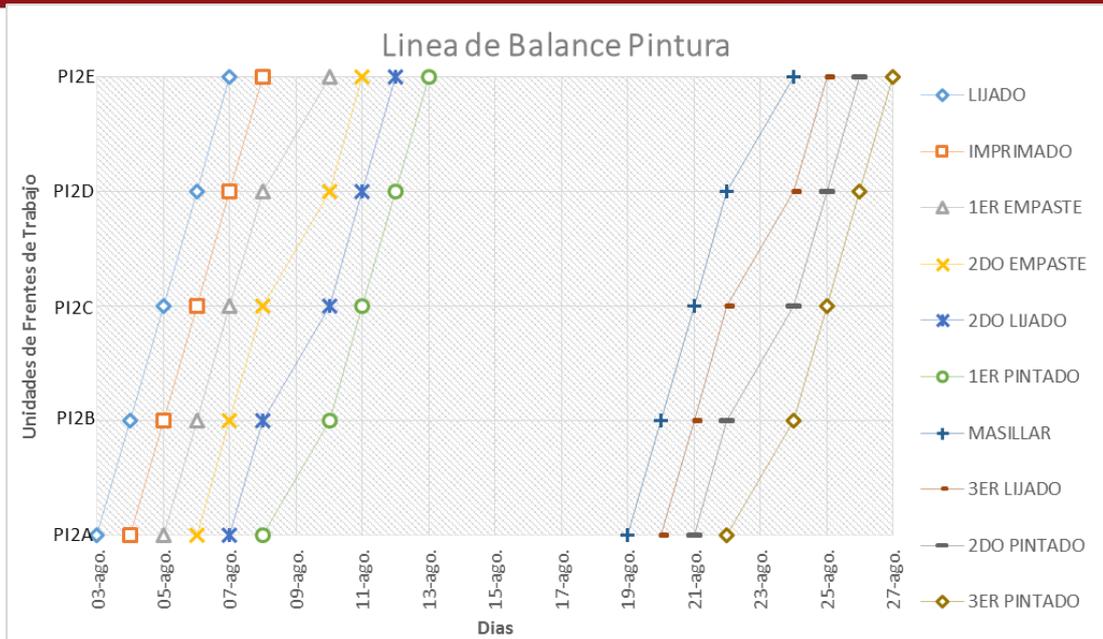


Gráfico 4. Líneas Balance de la Planificación de Acabados para el Frente de Trabajo de Pintura (Frente de Trabajo 1).

Las actividades hasta la primera mano de pintura esperan que se coloquen todas las puertas para terminar con el último masillado lijado y pintura final.

El frente de trabajo de Cocina se presenta todas las partidas programadas comúnmente teniendo en cuenta los rendimientos y siguiendo el orden por piso. Algunas actividades se logran acabar un mismo día pero se debe tener en claro cuáles son y siguiendo un orden.

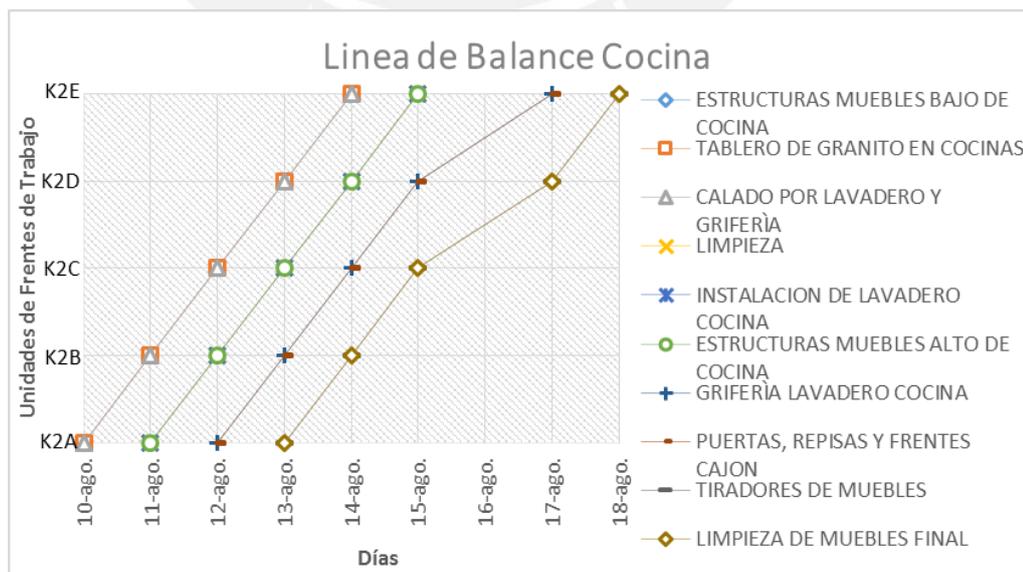


Gráfico 5. Líneas de Balance de la Planificación de Acabados para el Frente de Trabajo de Cocina (Frente de Trabajo 2).

El frente de trabajo de los closets no tiene muchas actividades en obra pero sí en el taller por lo que es importante realizar visitas al mismo para inspeccionar que lleguen completos y de acuerdo a las especificaciones a la obra.

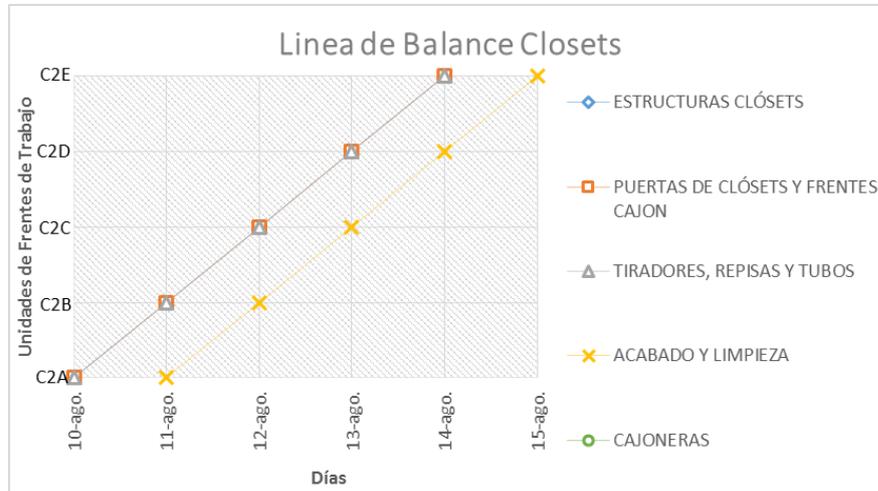


Gráfico 6. Líneas de Balance de la Planificación de Acabados para el Frente de Trabajo de Closets (Frente de Trabajo 3).

En el caso del frente de trabajo de la puerta vimos que los tiempos de instalación son muy cortos. Por lo tanto, hay varias actividades que se realizan el mismo día, en el gráfico 5 se están superponiendo las líneas. Por lo que sugiero que las puertas se coloquen casi terminando la fase de acabados para que tome menos tiempo y no se interrumpa con otras actividades. Para tal fin, los marcos deberán estar aplome y la actividad no deberá afectar los trabajos anteriores.

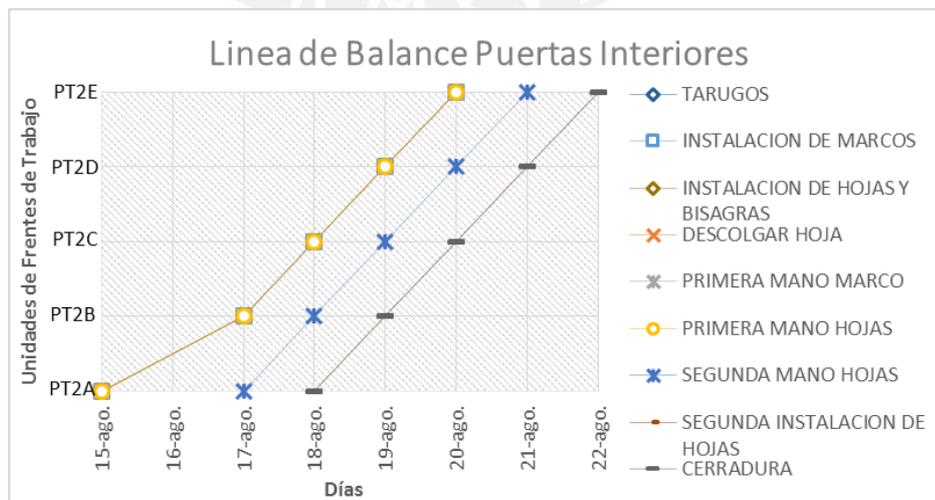


Gráfico 7. Líneas de Balance de la Planificación de Acabados para el Frente de Trabajo de Puertas Interiores (Frente de trabajo 4).

Finalmente, analizó el frente de trabajo de Baños considerando todas las partidas que se requieren, rendimientos y tiempos de espera por secado.

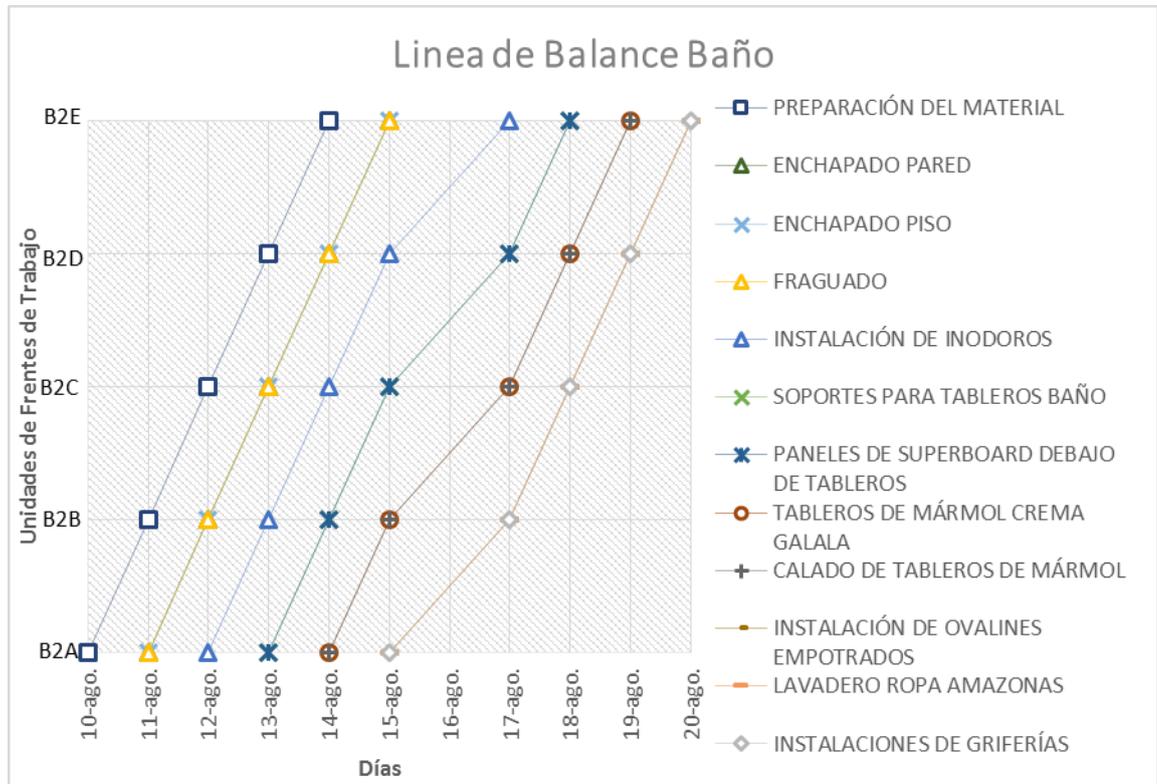


Gráfico 8. Líneas de Balance de la Planificación de Acabados para el Frente de Trabajo de Baño (Frente de trabajo 5).

Se sugiere que en general teniendo en cuenta estas programaciones se pueda contar con cuadrillas especializadas que puedan realizar los trabajos que se necesitan en un día y por departamento. De tal manera, que se pueda generar trenes de trabajo pero identificando las labores que deben hacer y el espacio que ocuparan cada fecha.

## CAPITULO V.- COMENTARIOS Y CONCLUSIONES

1. Las actividades durante la fase de acabados no se programan detalladamente. Se emplean barras gant a partir de ratios de la experiencia. Sin embargo, esto no es suficiente porque no se tiene la información de todo lo que se requiere trabajar. Por lo tanto, no se puede cumplir con la programación.
2. No se conocen los rendimientos, sólo se establecen inicio y fin. No se conocen los subprocesos y se deja a merced del subcontratista la productividad. No se programa su trabajo y hay un desconocimiento de su trabajo diario.
3. La duración de las partidas son mucho mayores a las programadas por el contratista. No se construyen mapeos de cadena de valor reales para conocer los tiempos productivos de las partidas y no se pueden hacer mejoras. El porcentaje de productividad es bajo por la gran cantidad de espacios por mejorar.
4. En el caso de estudio, no se aplica Last Planner en la fase de acabados porque no se tiene una programación de las actividades con un horizonte detallado. Al no conocer las partidas no se pueden levantar restricciones reales y tampoco identificar las causas de incumplimiento. Sin embargo, esta práctica se puede extrapolar a muchas edificaciones de la ciudad.
5. El estudio realizado en las cuatro partidas revela que en la fase de acabados existe mucho inventario de productos parciales de hasta un mes de espera. Se debería optar por priorizar las actividades y colocar algunas al final de la programación para que no hayan esperas largas. Plantear metas claras de reducción de esperas.
6. La estructura de trabajo no se encuentra bien definida hasta el momento en las obras. Por lo cual, se sugiere un sistema que pueda trabajar por frentes de trabajo (FT) como el FT 1 de pintura, FT 2 de baños, FT 3 de cocinas y FT 4 de puertas que son diferenciados por su espacio y las actividades que involucran.
7. La disposición de los trabajadores puede conseguirse con incentivos, dependiendo de la empresa contratista, demostrándole el producto de la confianza generada. Ofrecer al subcontratista más proyectos de la empresa o

más partidas como en muebles de closets y cocinas darle además puertas o muebles bajos de baño, porque como se conoce, la obras tienen un ciclo de trabajo corto a comparación de otros trabajos y lo que los subcontratistas buscan en mayores obras, si deja a un cliente satisfecho puede recibir recomendaciones para otros trabajos y crecer como empresa. El trato no debería ser estrictamente laboral, el objetivo es integrarlos al proyecto y hacerles notar su gran contribución y sus beneficios, mejor prestigio y permanencia para proyectos próximos similares.

8. Se sugiere reducir los trabajos artesanales como las obras de sobre piso de concreto que se hace debajo de los muebles de cocina y tener que solicitar puertas a medida cuando la construcción se debe industrializar. Los poyos y las puertas prefabricadas se encuentran disponibles en nuestro país solo es cuestión que puedan ser implementadas de manera eficiente. La idea es reducir tiempo, re-trabajos y costos. Para ello, la arquitectura debe considerar estas innovaciones desde el diseño consiguiendo sensibilizar al cliente para la aceptación de estos productos.
9. Partiendo de la hipótesis planteada se puede considerar que si es posible utilizar Last Planner en la fase de acabados luego de seguir una nueva estructura de trabajo basada en frentes de trabajo planteadas en la presente tesis.

## BIBLIOGRAFÍA

ALSEHAIMI, Abdullah, Patricia TZORTZOPOULOS y Lauri KOSKELA

1. 2009 “*Last Planner System: Experiences from Pilot Implementation in the Middle East*”. Ponencia presentada en Actas de la 17<sup>a</sup> Conferencia Anual del Grupo Internacional de Lean Construction. Taiwán.

BALLARD, Glenn

2. 1994 “*The Last Planner*”. Ponencia presentada en Conferencia de Primavera del Norte de California Instituto de la Construcción. Monterrey.
3. 2000 *Lean Project Delivery System*. LCI White Paper-8. Lean Construction Institute, Setiembre 23, 2000.

CALAMPA, Sarah

4. 2014 *Aplicación de la Línea de Balance en el sistema Last Planner en proyectos de edificaciones*. Tesis de licenciatura en Ciencias e Ingeniería con mención en Ingeniería Civil. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería.

CAÑA, Cristhian y Pedro ESCAJADILLO

5. 2006 *Diagnóstico y Evaluación de la Relación entre el Tipo Estructural y la Integración de los Contratistas y Subcontratistas con el Nivel de Productividad en Obras de Construcción*. Tesis de licenciatura en Ciencias e Ingeniería con mención en Ingeniería Civil. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería.

CAÑA, Cristhian

6. 2013 *Metodología de Integración de Subcontratos a un Sistema de Gestión basado en la Aplicación del Lean Construction: Aplicación y Mejoras Propuestas*. Paper. Portal de Ingeniería.

CASTILLO, Ines

7. 2006 *Inventario de Herramientas del Sistema de Entrega de Proyectos Lean (LPDS)*. Tesis de licenciatura en Ciencias e Ingeniería con mención en Ingeniería Civil. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería.

## GARBUTT CONSTRUCTION COMPANY

8. 2015 Lean Construction and the Pull Planning Method!.  
<https://www.youtube.com/watch?v=kn7bSuKxAAE>

## GHIO CASTILLO, Virgilio

9. 2001 *Productividad en Obras de Construcción*. Lima: Fondo Editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú.

## GRAÑA Y MONTERO

10. 2011 *Modelo de Gestión de Producción GYM, Hotel Westin Libertador* [Diapositivas]. Lima.

## KOSKELA, Lauri, John ROOKE y Trond BOLVIKEN

11. 2013 The Wastes of Production in Construction – A TFV Based Taxonomy. Ponencia presentada en Actas de la 22<sup>a</sup> Conferencia Anual del Grupo Internacional de Lean Construction. Osloy, Norway.

## MALDONADO, Guillermo

12. 2008 *Herramientas y técnicas Lean Manufacturing en Sistemas de Producción y Calidad*. Tesis de licenciatura en Ciencias e Ingeniería con mención en Ingeniería Industrial. Pachuca de Soto: Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería.

## MIRANDA CASANOVA, Daniel

13. 2012 *Implementación del Sistema Last Planner en la Habilitación Urbana*. Tesis de licenciatura en Ciencias e Ingeniería con mención en Ingeniería Civil. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería.

## MORILLO SANTA CRUZ, Tania Elena

14. 2007 *Estudio de la Productividad en una Obra de Edificación*. Tesis de licenciatura en Ciencias e Ingeniería con mención en Ingeniería Civil. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería.

## NING DONG

15. 2012 “Automated Look-Ahead Schedule Generation and Optimization for the Finishing Phase of Complex Construction Projects”. A dissertation submitted to the department of Civil and Environmental Engineering and the Committee on

Graduate Studies of Stanford University in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Doctor of Philosophy: Stanford University.

ORIHUELA, Pablo y Delfín ESTEBES

16. 2013 *Aplicación del Método de la Línea de Balance a la Planificación Maestra*, Encuentro Latino Americano de Gestión y Economía de la Construcción, Tecnológico de Monterrey, Cancún México, Junio 2013.

TSAO, Cinthya y otros

17. 2004 *Work Structuring to Achieve Integrated Product–Process Design*, Journal of Construction Engineering and Management © ASCE, December 2004.

TSAO, Cinthya

18. 2005 *“Use of Work Structuring to Increase Performance of Project-Based Production Systems”*. A dissertation submitted in partial satisfaction of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy in Engineering – Civil and Environmental Engineering in the GRADUATE DIVISION. Berkeley: University of California.

ROSENBAUM VIDELA, Sergio A

19. 2012 *Aplicación de Mapeo de Cadenas de Valor para la Detección de Pérdidas Productivas y Medioambientales en la Construcción: Estudio de Caso en Obra “Clínica Universidad de los Andes”*. Tesis de licenciatura con mención en Ingeniería Civil. Santiago de Chile, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas.

SHIMIZU, Julio y Francisco CARDOSO

20. 2002 *“Subcontracting and Cooperation Network in Building Construction: A Literature Review”*. Ponencia presentada en 10ª Conferencia del Grupo Internacional de Lean Construction. Gramado.

ROTHER, Mike y John SHOOK

21. 1999 *Observar para Crear Valor: Cartografía de la cadena de valor para agregar valor y eliminar la “muda”*. Un manual de trabajo y herramienta lean. Brookline, Massachusetts, USA: The Lean Enterprise Institute.