



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE CHILE
ESCUELA DE INGENIERIA

**COLABORACIÓN EXTREMA Y GESTIÓN DE
COMPROMISOS EN LA ETAPA DE DISEÑO DE
PROYECTOS**

CRISTINA ELIZABETH JARA DURÁN

Tesis para optar al grado de
Magíster en Ciencias de la Ingeniería

Profesor Supervisor:
LUIS FERNANDO ALARCÓN CARDENAS

Santiago de Chile, Junio, 2010

© 2010, Cristina Elizabeth Jara Durán



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DE CHILE
ESCUELA DE INGENIERIA

COLABORACIÓN EXTREMA Y GESTIÓN DE COMPROMISOS EN LA ETAPA DE DISEÑO DE PROYECTOS

CRISTINA ELIZABETH JARA DURÁN

Tesis presentada a la Comisión integrada por los profesores:

LUIS FERNANDO ALARCÓN CARDENAS

CLAUDIO MOURGUES ALVAREZ

RODRIGO ALCAÍNO

PATRICIO DEL SOL GUZMÁN

Para completar las exigencias del grado de
Magíster en Ciencias de la Ingeniería

Santiago de Chile, Junio, 2010

Gracias Padre por acompañarme en mi camino y asegurar mis pasos.

Con amor a mi familia: mis Padres, hermanos y a ti.

A mis amigos, que han estado presentes y han vivido junto a mí toda esta importante etapa de mi vida.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a todos aquellos que han sido parte de esta importante etapa de mi vida en la Universidad y me han dado grandes lecciones de vida: amigos de bachillerato, amigos del equipo de selección de Judo, Sensei Jaime Fuentes y profesores del minor de Estudios Asiáticos.

Agradezco especialmente a mi profesor supervisor, Luis Fernando Alarcón, por sus sugerencias y correcciones en el desarrollo de esta investigación, así como también a Claudio Mourgues. Agradezco además a todos los profesores y administrativos del Departamento en Ingeniería y Gestión de la Construcción, especialmente al profesor Carlos Videla por sus palabras y consejos.

Gracias al Centro de Innovación y Desarrollo de la Madera PUC-Corma (CIDM) y sus investigadores, que creyeron en los objetivos y planteamientos de este estudio, de manera especial a: Paula Martínez, Juan José Ugarte, Waldo Rivera, Rodrigo Cepeda, Alexander Fritz, Rafael Ridell, Héran Santa María, Mario Ubilla y Leonardo Veas.

A su vez quisiera agradecer los expertos que evaluaron los resultados de esta investigación: consultores del Centro de Excelencia en Gestión de Producción (GEPUC) y de la Corporación de Desarrollo Tecnológico (CDT).

A mis compañeros de Postgrado (María Alejandra, Hugo, Zulay, Valeria, Eugenia, Mario, Jorge Luis, Vicente), por sus consejos y palabras de aliento, en especial a Omar Zegarra, por aquellas discusiones filosófico-teóricas que dieron grandes aportes a esta tesis y por compartirme su alto conocimiento en términos bibliográficos.

Finalmente agradecer a mi familia, por su apoyo incondicional y a Andrés Caro, por su amor, consejos, conocimiento y orientación más allá de esta investigación.

INDICE DE CONTENIDOS

AGRADECIMIENTOS	iii
INDICE DE ECUACIONES	vii
INDICE DE FIGURAS	vii
INDICE DE FOTOGRAFÍAS	ix
INDICE DE GRÁFICOS	x
INDICE DE IMÁGENES	x
INDICE DE TABLAS	xi
RESUMEN	xiii
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Antecedentes Generales	1
1.2. Hipótesis.....	4
1.3. Objetivos del Estudio	4
1.4. Metodología de Trabajo	5
1.5. Alcance del Estudio.....	8
1.6. Resultados Esperados.....	8
2. FILOSOFÍA <i>LEAN</i> Y LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN	9
2.1. Introducción	9
2.2. ¿Qué es la Filosofía Lean?	10
2.3. Filosofía Lean: Principios y Conceptos	11
2.3.1. Especificar el valor.....	11
2.3.2. Identificación del Flujo del Valor	12
2.3.3. Flujo	13
2.3.4. <i>Pull</i> (jalar, atraer)	13
2.3.5. Perfección.....	14
2.4. Filosofía Lean en la Industria de la Construcción.....	15
2.4.1. Construcción <i>Lean</i> versus Construcción Tradicional	15
2.4.2. Principios y Conceptos de la Construcción Lean.....	20
2.5. Filosofía Lean y el diseño de Proyectos.....	21
2.5.1. Problemas en el diseño.....	22
2.5.2. Conceptualizaciones en diseño	24
2.5.3. El modelo TFV en el diseño.....	29
2.5.4. Situación del diseño en Chile.....	30
2.6. Resumen.....	33
3. <i>LEAN PROJECT DELIVERY SYSTEM (LPDS)</i>	34
3.1. Introducción	34
3.2. Antecedentes Generales	34
3.3. Estructura LPDS asociada al diseño de proyectos	37
3.3.1. Estructuración del Trabajo	37
3.3.2. Control de Producción.....	39
3.3.3. Definición del Proyecto.....	40
3.3.4. Diseño <i>Lean</i>	42
3.4. Herramientas estratégicas de mejoramiento asociadas a Diseño Lean	44

3.5.	Herramientas de tácticas de mejoramiento asociadas a Diseño Lean	45
3.5.1.	Uso de Tecnologías de la Información (TI)	45
3.5.2.	El último planificador	47
3.5.3.	Planificación por fases	50
3.6.	Resumen	56
4.	METODOLOGÍA EXTREME COLLABORATION.....	58
4.1.	Introducción	58
4.2.	La metodología de la NASA	58
4.3.	Estructura de la Metodología generalizada	59
4.4.	Redes de comunicación.....	62
4.5.	Ventajas de la metodología	63
4.6.	Limitaciones.....	64
4.7.	Factores para el éxito de XC	65
4.8.	Resumen.....	67
5.	ESTUDIO DE APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE EXTREME COLLABORATION.....	69
5.1.	Introducción	69
5.2.	XC para AEC	69
5.3.	Antecedentes Generales Caso Estudio	70
5.4.	Experiencia y desarrollo sesiones XC.....	71
5.5.	Evaluaciones sesiones XC	72
5.5.1.	Ventajas Observadas (Plus).....	76
5.5.2.	Obstáculos y barreras de implementación (Deltas).....	78
5.6.	Conclusiones de primeras aplicaciones de XC	83
5.7.	Resumen.....	84
6.	METODOLOGÍA INTEGRADA DE GESTIÓN DE DISEÑO (MIGD)	86
6.1.	Introducción	86
6.2.	Conceptualización de MIGD.....	86
6.2.1.	Ejecución integrada de diseño: <i>Extreme Collaboration</i>	90
6.2.2.	Estructuración del trabajo: Planificación por Fases.....	94
6.2.3.	Control de Producción: Análisis de restricciones, control de trabajo cumplido y causas de no cumplimiento	97
6.2.4.	Mejoramiento Continuo	97
6.3.	Indicadores para MIGD.....	99
6.3.1.	Criterios de Calidad de la definición del trabajo para MIGD	100
6.3.2.	Porcentaje de Actividades Completadas y Causas de no cumplimiento	103
6.4.	Integración de Metodologías: Planificar Lean para Diseñar Lean.....	105
6.5.	MIGD: una metodología para LPDS	114
6.5.1.	¿Cómo MIGD cumple con las características esenciales de LPDS?	116
6.6.	Resumen.....	117
7.	RESULTADOS OBSERVADOS DE APLICACIÓN DE MIGD.....	119
7.1.	Introducción	119
7.2.	Resultados Módulo Ejecución Integrada de Diseño: Extreme Collaboration.....	121
7.3.	Resultados Módulo de estructuración del trabajo: Planificación por fases.....	125

7.4.	Resultados Módulo de Control de Producción: AR+PPC+CNC	127
7.5.	Resultados de la Integración	130
7.6.	Resumen.....	133
8.	METODOLOGÍA DE VALIDACIÓN RESULTADOS DE LA INTEGRACIÓN: ANÁLISIS Y RESULTADOS	135
8.1.	Introducción	135
8.2.	Herramientas de Validación.....	135
8.2.1.	Encuesta General sobre MIGD	136
8.2.2.	Encuesta Comparativa Caso Estudio versus Proyecto Anterior	136
8.2.3.	Herramienta de evaluación de expertos	136
8.3.	Resultados Herramientas de Validación	136
8.3.1.	Comentarios generales en Focus Group.....	139
8.3.2.	Resultados Encuesta General sobre MIGD.....	144
8.3.3.	Resultados Encuesta Comparativa Caso Estudio versus Proyecto Anterior..	150
8.3.4.	Resultados Herramienta de evaluación de expertos.....	153
8.4.	Resumen.....	156
9.	RECOMENDACIONES PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE MIGD.....	158
9.1.	Recomendaciones Generales.....	158
9.1.1.	Capacitación	158
9.1.2.	Participación activa de distintos involucrados	159
9.1.3.	Implementación: un proceso paulatino	159
9.2.	Recomendaciones de implementación en torno a LPS: PP y AR+CC	160
9.2.1.	Elementos de LPS son inseparables.....	160
9.2.2.	Rescatar correctamente Causas de no Cumplimiento y generar soluciones reales a ellas	160
9.2.3.	Participación activa en la sesión de planificación de todos los involucrados de la fase	160
9.2.4.	Momento de realización de sesión PP.....	161
9.2.5.	Aplicación de LPS a nivel de multiproyecto.....	161
9.3.	Recomendaciones de implementación en torno a XC	161
9.3.1.	En los inicios disminuir la cantidad de trabajo asignado a las sesiones XC ..	161
9.3.2.	Tiempo entre sesiones XC	162
9.3.3.	Dos tipos de sesiones XC para dos tipos de enfoques y necesidades	162
9.3.4.	Continuidad y alineamiento en el equipo de trabajo.....	163
9.3.5.	Sub-grupos de trabajo en sesiones XC.....	164
9.3.6.	<i>Outputs</i> claramente especificados y definidos	164
9.3.7.	Uso de Tecnologías de la Información.....	165
10.	CONCLUSIONES.....	166
10.1.	Contexto teórico y MIGD	166
10.2.	MIGD: Construyendo una autopista de alta velocidad	166
10.2.1.	Conociendo el camino: Planificación por Fases	167
10.2.2.	Despejando el camino de obstáculos: Análisis de restricciones y control de compromisos	167
10.2.3.	Aumentando la velocidad: Extreme Collaboration.....	168

10.3. Conclusión general.....	168
10.4. Líneas de Investigación a seguir	169
BIBLIOGRAFÍA.....	171
ANEXOS	179
A. ANEXO A: Principios de <i>Lean Construction</i>.....	180
B. ANEXO B: Herramientas <i>Lean Design</i>	189
C. ANEXO C: Experiencia y desarrollo sesiones XC en Caso de Estudio	199
D. ANEXO D: Encuesta de evaluación de Sesión XC.....	225
E. ANEXO E: Resultados por sesión de encuesta de evaluación de la calidad del trabajo para sesiones XC.....	228
F. ANEXO F: Experiencia y desarrollo sesiones PP en Caso de Estudio.....	230
G. ANEXO G: Encuestas de Validación de MIGD.....	238
H. ANEXO H: Resultados de Encuestas de Validación.....	244

INDICE DE ECUACIONES

Ecuación 6-1: Porcentaje Actividades Completadas.....	104
Ecuación 8-1: Promedio	138

INDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: Desarrollo esquemático de un proyecto	2
Figura 1-2: Nivel de influencia en costos del proyecto	3
Figura 1-3: Diagrama de Flujo de Metodología de Investigación	7
Figura 2-1: Modelo de conversión tradicional.....	16
Figura 2-2: Enfoque Lean. La producción como proceso.....	17
Figura 2-3: El diseño es un proceso de conversión.....	24
Figura 2-4: Diseño como flujo	25
Figura 2-5: Diseño como generador de valor.....	28
Figura 3-1: Estructura LPDS.....	35
Figura 3-2: Estructura de Definición de Proyecto de LPDS	40
Figura 3-3: Diagrama de flujo de fase de definición de proyecto según LPDS.....	42
Figura 3-4: Estructura Diseño Lean de LPDS.....	43
Figura 3-5: Herramientas recomendadas por LCI para Diseño Lean	44
Figura 3-6: Principio de planificación general.....	47
Figura 3-7: Principio del último planificador.....	48
Figura 3-8: Tipos de Programas involucrados en el Sistema del Último Planificador	49
Figura 3-9: Sistema de planificación y control de proyectos El último planificador (Last Planner System, LPS)	49
Figura 3-10: Diagrama explicativo de asignación de <i>buffers</i> en la planificación por fases	53

Figura 4-1: Tres elementos centrales de XC y sus componentes.....	60
Figura 4-2: Diagrama de etapas de involucradas en la metodología	61
Figura 4-3: Mapa de interacciones en la sala de trabajo entre distintas especialidades...	63
Figura 5-1: Primera aproximación de XC para AEC	70
Figura 5-2: Plus & Delta- Comentarios Generales sobre XC	75
Figura 5-3: Plus & Delta- Valor y Nivel de interacciones entre Áreas.....	75
Figura 5-4: Plus & Delta- Equipo de Trabajo	76
Figura 5-5: Plus & Delta- Red Electrónica y Utilización de modelos computacionales .	76
Figura 6-1: Metodología Integrada de Gestión de Diseño	87
Figura 6-2: Relaciones para la Integración de metodologías	88
Figura 6-3: Factores de MIGD y sus roles	89
Figura 6-4: Pilares de MIGD.....	89
Figura 6-5: Paralelo entre Metodología XC de la NASA y AEC	90
Figura 6-6: Proceso de planificación de Sesiones XC mediante la Planificación en Fases	95
Figura 6-7: Resultado de Planificación por Fases para MIGD	96
Figura 6-8: Factores de Mejoramiento Continuo en MIGD.....	98
Figura 6-9: Alcance de Criterios de Calidad en Metodologías de MIGD.....	101
Figura 6-10: Contribuciones prácticas de visiones del diseño	105
Figura 6-11: Perspectivas abarcadas por LPS	105
Figura 6-12: Perspectivas abarcadas por elementos de LPS.....	106
Figura 6-13: Perspectivas abarcadas por PP	106
Figura 6-14: Perspectivas abarcadas por AR y CNC	108
Figura 6-15: Perspectivas abarcadas por XC	109
Figura 6-16: Conceptualización del diseño en XC vs. visión de transformación	110
Figura 6-17: Avance de proceso de diseño convencional.....	112
Figura 6-18: Proceso es acelerado gracias a buffer de información	112
Figura 6-19: Sesiones XC aceleran el flujo de trabajo.....	112
Figura 6-20: MIGD vs TFV	113
Figura 6-21: MIGD en LPDS.....	115
Figura 7-1: Proceso de implementación de MIGD en Caso de Estudio	120
Figura 7-2: Diagrama Acción-Resultado de XC para AEC	131
Figura 7-3: Diagrama Acción-Resultado de PP para XC.....	132
Figura 7-4: Diagrama Acción-Resultado para LPS	132
Figura B-1: Integrar por intersección.....	192
Figura B-2: Ejemplo DSM.....	195
Figura B-3: Representación esquemática DSM	196
Figura B-4: Ejemplo de intervención con DSM	198
Figura C-1: Ficha de levantamiento de Resultados Sesión XC 5	221
Figura C-2: Ejemplo planos generados para el desarrollo de la Sesión XC 5	222
Figura F-1: Programa concensuado de tareas en formato digital sesión PP 1	232
Figura F-2: Programa concensuado de tareas pendientes de Fase 1 en formato digital	235
Figura F-3: Programa concensuado de tareas en formato digital sesión PP 2	236

INDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía C-1: Intercambio durante las presentaciones de las distintas propuestas al comienzo de la sesión.....	201
Fotografía C-2: Vista general durante el trabajo en mesas	201
Fotografía C-3: Intercambio en la mesa de trabajo N°1	201
Fotografía C-4: Intercambio en la mesa de trabajo N°2	202
Fotografía C-5: Intercambio en la mesa de trabajo N°3	202
Fotografía C-6: Intercambio entre mesa 1 y 2	202
Fotografía C-7: Matriz de Evaluación base en formato digital.....	203
Fotografía C-8: Igualmente se trabaja sobre papel frente a la falta de costumbre de hacerlo en manera digital	203
Fotografía C-9: Existió un permanente uso de los pizarrones para el intercambio y recopilación de ideas.....	203
Fotografía C-10: Vista de mesas 1 y 2	205
Fotografía C-11: Interacción entre mesas 1 y 2	205
Fotografía C-12: Trabajo en la mesa 2.....	205
Fotografía C-13: Trabajo de mesa 3.....	206
Fotografía C-14: Presentación de metodología de trabajo para definición de ponderadores	211
Fotografía C-15: Discusiones de criterios con la industria	211
Fotografía C-16: Se generan conversaciones paralelas que se convierten en un aporte posterior al grupo	211
Fotografía C-17: Trabajo en mesas	212
Fotografía C-18: Trabajo en mesa de Industria.....	212
Fotografía C-19: Trabajo de mesa de comportamiento físico ambiental.....	212
Fotografía C-20: Trabajo en mesa de construcción y estructuras	213
Fotografía C-21: Trabajo con Tablet PC.....	217
Fotografía C-22: Proyección de trabajo en Tablet PC	217
Fotografía C-23: Trabajo en mesa con miembros de diversas áreas.....	217
Fotografía C-24: Evaluando factibilidad de ensayos predefinidos	218
Fotografía C-25: Mesa de trabajo	218
Fotografía C-26: Utilización de pantallas de proyección como herramienta de apoyo al trabajo.....	218
Fotografía C-27: Evaluando las distintas opciones a ser consideradas.....	223
Fotografía C-28: Discusión en Mesa multidisciplinaria	223
Fotografía C-29: Discusión en Mesa multidisciplinaria 2	223
Fotografía C-30: Discutiendo distintos aspectos en torno a pizarras.....	224
Fotografía C-31: Evaluando plazos y planificación del proyecto.....	224
Fotografía F-1: Comienzo de sesión. Escribiendo las tareas desde el hito hacia hoy....	230
Fotografía F-2: Discutiendo secuencia de tareas	231
Fotografía F-3: Programa al final de la sesión PP 1.....	231
Fotografía F-4: Comienzo de sesión. Reprogramando trabajo pendiente Fase 1	233
Fotografía F-5: Agregando más tareas al programa.....	233

Fotografía F-6: Discutiendo la secuencia de trabajo entre todas las áreas del proyecto	234
Fotografía F-7: Estableciendo fechas para la reprogramación de la Fase 1	234
Fotografía F-8: Programa final de tareas pendientes Fase 1 (sector superior) y secuencia concensuada de tareas fase 2	234

INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 2-1: Distribución de tiempo de Ciclo etapa de diseño	26
Gráfico 2-2: Resultados de mejoramiento al implementar la filosofía Lean en el diseño	32
Gráfico 5-1: Pareto de Causas de No cumplimiento de Objetivos Sesiones XC 1 y 2	80
Gráfico 6-1: Resultados Encuesta de Calidad de Definición del Trabajo	102
Gráfico 6-2: Comparación de Resultados Encuesta de Calidad de Definición del Trabajo	102
Gráfico 6-3: Pareto de Causas de No Cumplimiento en Sesiones XC	103
Gráfico 6-4: Análisis de Tendencia de PPC	104
Gráfico 7-1: Comparación de resultados de sesiones XC 3, 4 y 5- Global	121
Gráfico 7-2: Comparación de resultados de sesiones XC 3, 4 y 5-Profesionales proyecto	122
Gráfico 7-3: Comparación de resultados de sesiones XC 3, 4 y 5- Empresas proveedoras	122
Gráfico 7-4: Análisis de Pareto de frecuencia de causas de no cumplimiento de sesiones XC 3, 4 y 5	123
Gráfico 7-5: Comparación de Causas de no Cumplimiento en sesiones XC antes y después de implementación sesiones de Planificación por fases	126
Gráfico 7-6: Seguimiento de Porcentaje de Plan Completado	128
Gráfico 7-7: Pareto Causas de No Cumplimiento- Fase 1	129
Gráfico 7-8: Pareto Causas de No Cumplimiento- Fase 2	129
Gráfico 8-1: ¿Usaría MIGD en un proyecto futuro?	150
Gráfico 8-2: Comparación Caso Estudio vs. Proyecto Base Anterior	152
Gráfico E-1: Criterios de Calidad de trabajo (XC+PP) Sesión XC 3	228
Gráfico E-2: Criterios de Calidad de trabajo (XC+PP) Sesión XC 4	229
Gráfico E-3: Criterios de Calidad de trabajo (XC+PP) Sesión XC 5	229

INDICE DE IMÁGENES

Imagen C-1: Boceto de Probetas realizados con Tablet PC-1	216
Imagen C-2: Boceto de Probetas realizados con Tablet PC-2	216
Imagen C-3: Boceto de Probetas realizados con Tablet PC-3	216
Imagen F-1: Ficha de levantamiento de Compromisos	237

INDICE DE TABLAS

Tabla 2-1: Comparación entre enfoques de producción	18
Tabla 2-2: TFV integrados	19
Tabla 2-3: Principios Construcción <i>Lean</i>	20
Tabla 2-4: Principales causas de pérdidas asociadas al flujo del diseño con sus acciones para el mejoramiento.....	27
Tabla 2-5 Principales causas de pérdidas asociadas a la generación del valor del diseño con sus acciones para el mejoramiento	28
Tabla 2-6: TFV integrados en el diseño.....	29
Tabla 5-1: Resultados Encuesta de evaluación sesiones XC 1 y 2	74
Tabla 6-1: Herramientas de MIGD y los principios <i>Lean</i>	114
Tabla 7-1: Comparación de CNC de objetivos de Sesiones XC antes y post PP.....	126
Tabla 8-1: Alternativas de Respuesta vs. Valor Asignado.....	137
Tabla 8-2: Resumen de Resultados Encuesta General sobre MIGD – Apreciaciones Generales.....	145
Tabla 8-3: Resumen de Resultados Encuesta General sobre MIGD – Planificación y Control	146
Tabla 8-4: Resumen de Resultados Encuesta General sobre MIGD – Ejecución de Diseño	149
Tabla 8-5: Resumen de Resultados Encuesta Comparativa Caso Estudio vs Proyecto Base Anterior	150
Tabla 8-6: Resumen de Resultados de Encuesta de Validación de Expertos	155
Tabla 8-7: Herramientas de MIGD y los principios <i>Lean</i> - validado	155
Tabla C-1: Distribución de mesas de trabajo	199
Tabla C-2: Ficha resumen sesión XC 1.....	200
Tabla C-3: Ficha resumen sesión XC 2.....	204
Tabla C-4: Ficha resumen sesión XC 3.....	207
Tabla C-5: Resultados Sesión XC 3- Ponderaciones	209
Tabla C-6: Resultados Sesión XC 3-Evaluación de Productos.....	209
Tabla C-7: Resultados Sesión XC 3-Ranking de Soluciones.....	210
Tabla C-8: Ficha resumen sesión XC 4.....	214
Tabla C-9: Resultados Sesión XC 4- Evaluación de Plan de Ensayos Estructurales.....	215
Tabla C-10: Ficha Resumen Sesión XC 5	219
Tabla D-1: Preguntas efectuadas según Criterios de Calidad	225
Tabla F-1: Ficha resumen sesión PS 1	230
Tabla F-2: Ficha resumen sesión PP 2	233
Tabla G-1: Encuesta de Validación MIGD	239
Tabla G-2: Encuesta Comparativa de proyectos.....	240
Tabla G-3: Encuesta de Validación de Expertos de MIGD	241
Tabla H-1: Resultados Encuesta de Validación de MIGD-I.....	244
Tabla H-2: Resultados Encuesta de Validación de MIGD-II.....	245
Tabla H-3: Resultados Encuesta de Validación de MIGD-III	246

Tabla H-4: Resultados Encuesta Comparativa entre Proyecto Base y Caso de Estudio248

Tabla H-5: Resultados Encuesta de Validación de Expertos249

RESUMEN

Para alcanzar mejoramientos en los proyectos de ingeniería es necesario optimizar todas sus etapas. Tan importante como la optimización de la etapa de ejecución es el mejoramiento de la etapa de diseño. Actualmente existen diversas metodologías que enfrentan el mejoramiento de los procesos constructivos, pero son escasas las metodologías que optimicen el proceso de diseño.

En la NASA nace un modelo de organización conocido como *Extreme Collaboration* (XC). XC consiste en hacer trabajar a distintos actores involucrados en un proyecto en un mismo ambiente, con uso intensivo de tecnologías de la Información por medio de sesiones continuas de trabajo. El objetivo es acelerar el proceso de diseño en las primeras etapas del proyecto y optimizar la calidad de sus resultados.

Este estudio surge con el fin de diseñar y evaluar una metodología de implementación de XC, en la realidad del diseño de proyectos de ingeniería en Chile. Esta metodología adaptada busca entregar una herramienta que incentive la colaboración y el mejoramiento del proceso de diseño por medio de la reducción de pérdidas y la maximización del valor. XC adaptada fue implementada en un Proyecto Piloto de diseño de soluciones constructivas de viviendas en madera. Los resultados mostraron la necesidad de generar una metodología integral para la gestión del diseño. Más allá de la implementación de sesiones XC, debe involucrar la gestión en las etapas previas y post-sesiones XC y cumplir con los preceptos *Lean*. Así nace la Metodología Integrada de Gestión de Diseño (MIGD) siendo el principal resultado de esta investigación. MIGD emerge de la integración de tres herramientas: Planificación por Fases (PP), el análisis de restricciones y control de compromisos (AR+CC), ambas del Sistema del Último Planificador (LPS) y XC, representando cada una, un pilar en la gestión y ejecución del proceso de diseño y su mejoramiento.

ABSTRACT

In order to achieve improvements in projects of engineering, the optimization in all its stages is necessary. As important as the optimization of the construction phase is to optimize the design stage. Currently, there are various methodologies in order to face the improvement of constructive processes, but there are still few methodologies for the optimization of the design stage.

NASA has developed an organization model known as Extreme Collaboration (XC). XC consists on making the actors involved work together in a common project, within a shared environment, and with an intensive use of IT, through continuous work sessions. The objective is to accelerate the design process during the first stages of the project and to optimize the quality of results.

This study has the purpose of designing and evaluating a methodology for the implementation of XC for the design of engineering within the Chilean reality. The adapted methodology has the objective of delivering a tool that can motivate both collaboration and the improvement of the design process through the reduction of waste and the maximization of value. XC was adapted in a Pilot Study involving the design of construction solutions for wooden housing. The results show the need to generate a more integral methodology for the management of design. Beyond the implementation of XC sessions, it must also be included the management of the previous and post sessions of XC. It also requires fulfilling Lean precepts. This is how the Integrated Model of Design Management (IMDM) was born, as the main product of this research. IMDM emerged from the integration of three tools: Phase Planning (PP), restriction analysis and compromise control (RA + CC), both from the Last Planner System (LPS) and XC, each one representing a vital foundation in the management and execution of the design process and its improvement.

Keywords: Design Management, Extreme Collaboration, Last Planner, Lean Philosophy.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes Generales

Para poder lograr una mejora sustancial en los proyectos de ingeniería es necesario optimizar cada una de sus etapas. Tan importante como la optimización de la etapa de ejecución es el hacer eficiente los procesos asociados a la etapa de diseño de los proyectos. Es en ésta, donde se conceptualizan las ideas y especulaciones del cliente en un modelo físico materializable. Es precisamente en esta fase donde se definen los requerimientos del cliente, los aspectos constructivos y los estándares de calidad a través de normas, planos y especificaciones técnicas, convirtiendo la etapa de diseño en una de las más importantes [Freire, 2000].

Si sólo se concentran los esfuerzos en hacer más eficiente los procesos constructivos o la administración de estos y no se presta atención al diseño, seguramente será éste una limitante para una ejecución óptima global del proyecto y el cumplimiento global de plazos. Aun así es esta área de la ingeniería una de las menos atendidas presentándose diversos problemas [Freire, 2000]:

- Mala comunicación (con cliente externo y clientes internos)
- Falta de documentación adecuada
- Ausente o deficiente información de entrada
- Desequilibrada asignación de recursos
- Falta de coordinación entre disciplinas
- Errática toma de decisiones

Uno de los problemas que se destacan a menudo del proceso de diseño es la deficiente información disponible para poder desarrollar en forma adecuada las actividades que se involucran en esta etapa. [Tzortzopoulos y Formoso, 1999], [Cross, 1994]. Esto se produce muchas veces por la falta de claridad de los requerimientos del cliente, quien muchas veces no tiene la capacidad de hacer sus necesidades explícitas

[Cross, 1994]. Esto genera que el diseñador tenga una doble responsabilidad: entender bien el problema expuesto por su cliente y la búsqueda de una solución adecuada.

Por otra parte, durante todo el proceso existe una alta interdependencia y necesidad de intercambio entre diversos participantes, los cuales tienen variados criterios que son necesarios alinear y optimizar, para llegar a una solución adecuada e íntegra en cada una de las especialidades involucradas. Todo este intercambio e intentos por obtener un diseño óptimo se ven afectados por la información inadecuada y por las restricciones de plazo y presupuesto generalmente existentes [Freire, 2000].

Considerando el costo total del proyecto, la etapa de diseño tiene un costo bastante bajo, entre un 6% a un 8% del valor total de la inversión, en comparación al costo asociado a la construcción (80-85%) (Figura 1-1).

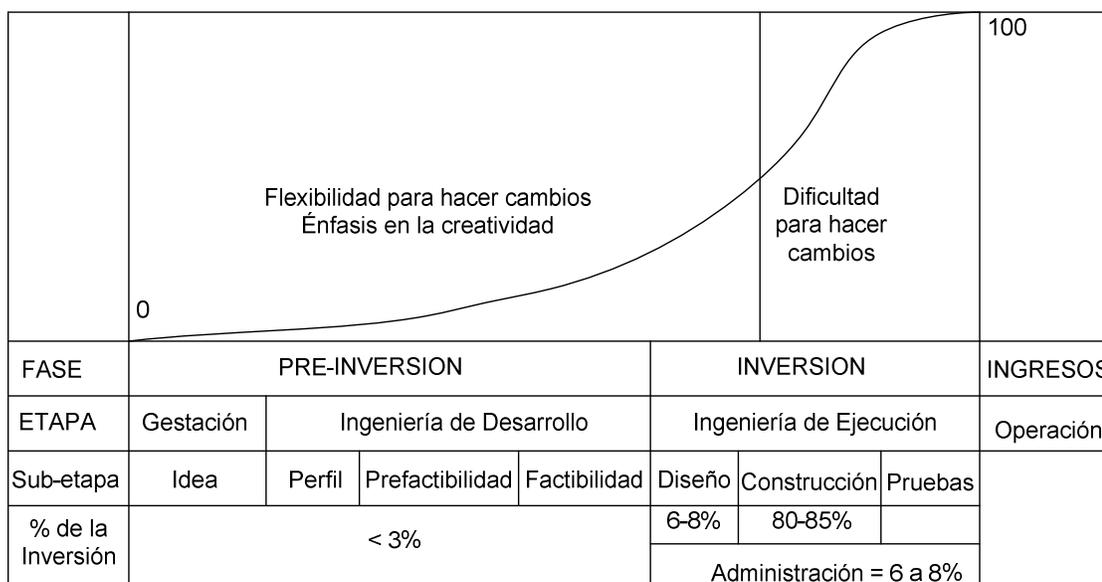


Figura 1-1: Desarrollo esquemático de un proyecto
(Adaptada de [Campero y Alarcón, 2003])

Al poner los mayores esfuerzos en controlar el proceso de construcción, se trata de disminuir el costo total del proyecto. Pero, al hacer este análisis se pierde de vista que

la mayor influencia en los costos totales del proyecto se produce en la etapa de diseño. De esta forma, si el diseño se optimiza en términos de constructabilidad, se puede obtener un menor costo total asociado al proyecto, al disminuir los problemas en la etapa de construcción. Por constructabilidad se entiende como el óptimo uso del conocimiento de construcción y experiencia en la planificación, diseño, procedimientos y campo de operaciones para alcanzar por sobre todo los objetivos del proyecto. El uso de constructabilidad en el diseño, efectivamente ha registrado ahorros de entre 1.1% y 10.7% en diversos proyectos investigados [Russell y Jaselskis, 1992].

Además al optimizar el diseño mismo, se disminuyen los costos incurridos por cambios realizados, pues es en la etapa de diseño es cuando se tiene mayor flexibilidad para hacer cambios con un costo mínimo.

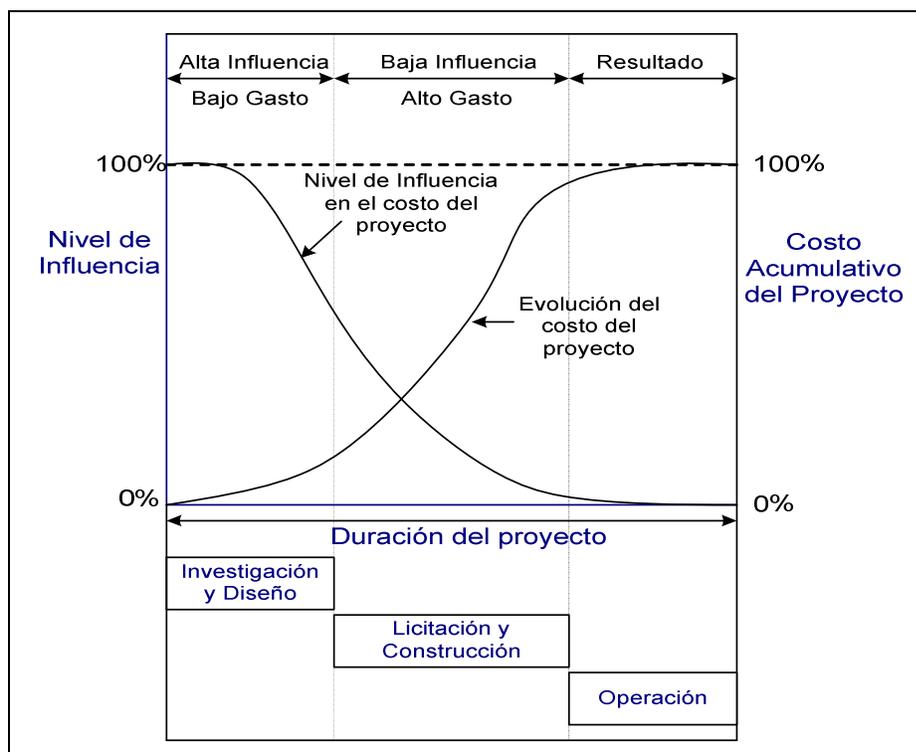


Figura 1-2: Nivel de influencia en costos del proyecto
(Adaptada de [Paulson, 1976])

Actualmente existen diversas metodologías que enfrentan el mejoramiento de los procesos constructivos, tratando de disminuir costos y plazos, pero con respecto a la concepción del proyecto son escasas las metodologías que optimicen el proceso de diseño. Por este motivo se ha visto que existe una necesidad en implementar metodologías que ayuden al mejoramiento de esta área de la ingeniería, para poder obtener mejores desempeños en todo el ciclo del proyecto.

1.2. Hipótesis

La hipótesis para el desarrollo de esta investigación postula que mediante la adopción y adaptación de una metodología de trabajo colaborativa enfocada al diseño de proyectos, basada en *Extreme Collaboration*, se puede lograr un mejoramiento de la etapa de diseño en términos de reducción de pérdidas durante la misma.

1.3. Objetivos del Estudio

El objetivo de este estudio es diseñar una metodología para la implementación de *Extreme Collaboration*, para la realidad del diseño de los proyectos de ingeniería y construcción en Chile. Por medio de esta metodología adaptada se busca entregar una herramienta que incentive la colaboración como método de trabajo, buscando el mejoramiento del proceso de diseño por medio de la reducción de pérdidas y optimizando el posterior proceso de construcción y operación de los proyectos.

Para poder alcanzar este objetivo general se requiere el cumplimiento de los siguientes objetivos específicos:

- Analizar la metodología *Extreme Collaboration* utilizada por la NASA.
- Desarrollar una metodología preliminar para la implementación de *Extreme Collaboration* en la Industria de la Arquitectura-Ingeniería-Construcción.
- Implementar sesiones de prueba en un proyecto piloto.

- Identificar obstáculos, barreras y modos de falla.
- Proponer acciones para superar los obstáculos identificados.
- Diseñar metodología mejorada en base a lo aprendido en sesiones de experimentación.

1.4. Metodología de Trabajo

La metodología de investigación utilizada consta de seis fases principales:

1. **Revisión bibliográfica y análisis de *Extreme Collaboration*.** Para poder plantear una metodología modificada de acuerdo al estado del arte en cuanto a metodologías para la etapa de diseño y métodos de trabajo colaborativo, se realizó un análisis, que además de incluir a *Extreme Collaboration*, contenía aspectos de *Lean Design*, Ingeniería Concurrente y la utilización de tecnologías de la información en el diseño de proyectos de construcción.
2. **Desarrollo de metodología preliminar de *Extreme Collaboration*.** En esta etapa se desarrolló la metodología preliminar, considerando lo evaluado en la etapa anterior, además de generar los indicadores que midan correctamente los objetivos planteados. Para la correcta medición de estos indicadores, se realizó una encuesta evaluativa y comparativa del caso de estudio versus una experiencia previa del equipo de trabajo y una herramienta de medición durante las sesiones extremas.
3. **Caso de Estudio.** Implementaciones de sesiones de prueba en un caso de estudio. Se identificaron los obstáculos, barreras y modos de falla para la implementación. Para obtener la visión de los involucrados en las sesiones se realizó una encuesta de evaluación de los puntos más relevantes de la metodología.

4. **Diseño metodología mejorada en base a lo aprendido.** En base al caso piloto se obtuvieron lecciones aprendidas y se propusieron acciones para superar los obstáculos identificados, por medio de una metodología mejorada.
5. **Validación Metodología Mejorada.** La metodología mejorada fue sometida a la evaluación de expertos y participantes del proyecto piloto por medio de un *focus group*.
6. **Documentación final de la metodología, conclusiones y recomendaciones.** Una vez validada la metodología se procedió a documentar el trabajo realizado, presentando conclusiones y recomendaciones para estudios posteriores.

La metodología de investigación en mayor detalle se presenta en el diagrama de flujo de la figura N° 1-3

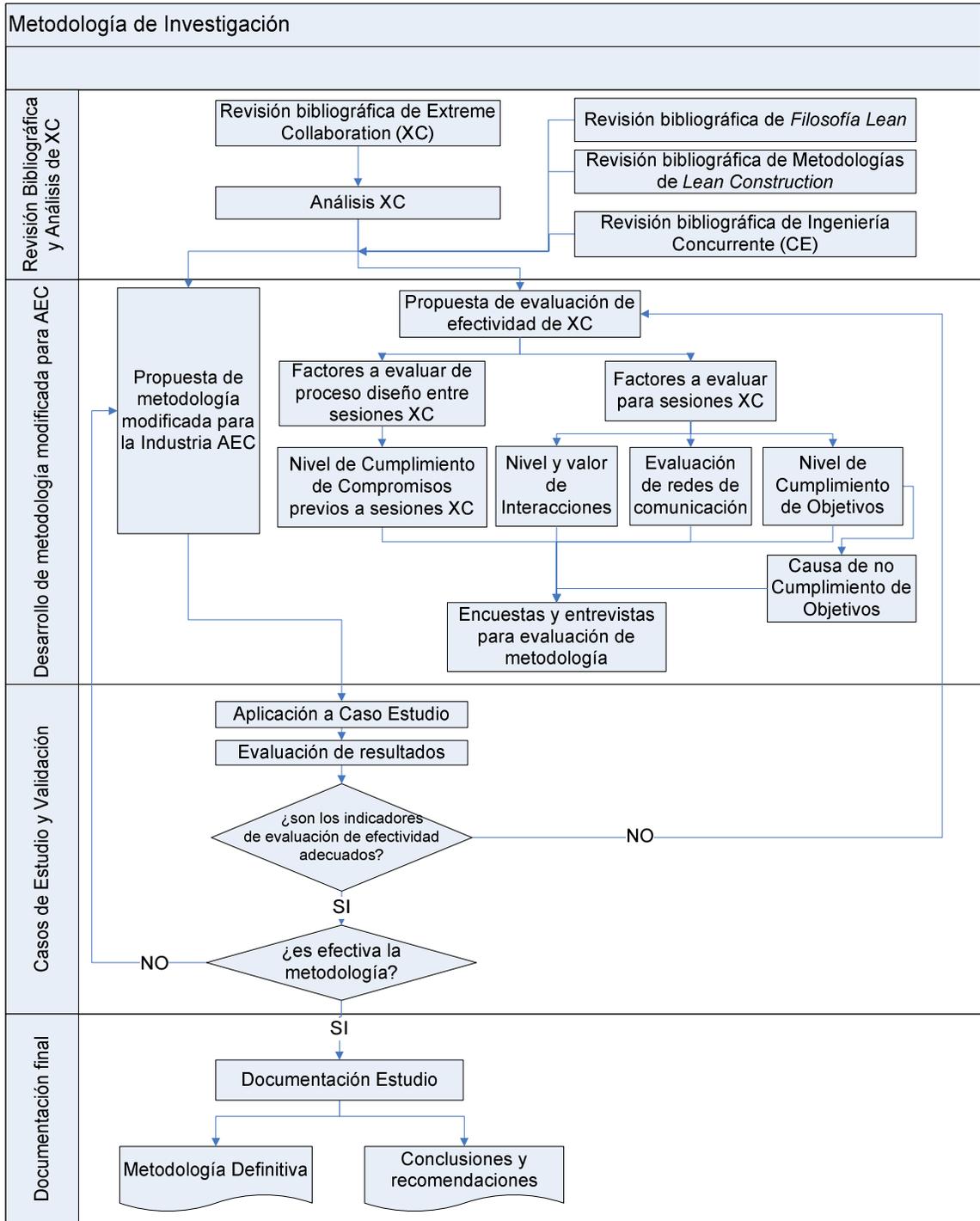


Figura 1-3: Diagrama de Flujo de Metodología de Investigación

1.5. Alcance del Estudio

El alcance de esta investigación está acotado a la industria de la construcción, específicamente a proyectos de diseño para estudio de propuestas que se encuentren entre la fase de gestación de proyecto hasta la etapa de diseño conceptual o ingeniería básica.

1.6. Resultados Esperados

En esta investigación se busca desarrollar una metodología que indique el proceso de cómo se debe implementar Extreme Collaboration, de acuerdo a la realidad local, para obtener éxito en su aplicación. Se entregarán los documentos correspondientes que resuman las metodologías a utilizar y sus indicadores para la medición de efectividad.

2. FILOSOFÍA *LEAN* Y LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN

2.1. Introducción

En este capítulo se desarrollará el tema de la filosofía Lean con el objetivo de dar las bases para el conocimiento y entendimiento de los principios que le rigen. Además se contextualiza esta filosofía dentro de la Industria de la Ingeniería de Diseño y la Construcción en general. De acuerdo a estos objetivos este capítulo se divide en cuatro partes principales:

1. Antecedentes generales de la filosofía *Lean*: Se explica qué es y como nace esta filosofía de producción.
2. Filosofía *Lean*: Principios y Conceptos: Se dan a conocer los principios que dan las bases a esta forma de producción.
3. La Filosofía *Lean* en la Industria de la Construcción: Primeramente se hace una comparación entre esta forma de producción y la forma tradicional de trabajo para lograr un mayor entendimiento de las diferencias reinantes. En segundo lugar, se detalla los conceptos y principios que rigen la Construcción *Lean*.
4. La Filosofía *Lean* y el diseño de Proyectos: En esta sección se estudiará en detalle cuales son los principales problemas que, en general, presenta la etapa de diseño. A partir del conocimiento de las principales problemáticas, posteriormente se busca entender cuales son los conceptos de esta filosofía en el diseño de proyectos, que permiten que se logre un mejoramiento de cada una de estas falencias. Finalmente se da a conocer cuál es la realidad nacional del diseño y los avances que se han observado al usar esta filosofía en proyectos de diseño.

2.2. ¿Qué es la Filosofía *Lean*?

En un mundo que avanza aceleradamente, cada vez se hacen más necesarias metodologías que se enfoquen en buscar mayor competitividad por medio de mejoras en la gestión de procesos productivos. En el siglo XX surgieron diversas teorías de la ingeniería industrial: Taylor, Gilbreth y Ford, que fueron la base del modelo tradicional de producción. Posteriormente emergieron un gran número de técnicas utilizadas hasta el día de hoy, entre ellas resaltan: Justo a Tiempo (JIT), Gestión de Calidad Total (TQM), Ingeniería Concurrente, Ingeniería de Valor, Reingeniería, Administración Basada en el Tiempo y Fabricación de Clase Mundial [Koskela, 1992].

Koskela (1992) muestra como la raíz de todas estas tendencias está en la conceptualización de los procesos productivos u operaciones. La diferencia entre ellas es el enfoque que cada una tiene, lo que particulariza cada técnica. Cada perspectiva está definida por los principios de diseño y control enfatizados por cada tendencia. En el caso de JIT se basa en la eliminación de tiempos de espera, y a su vez, TQM se orienta a la eliminación de errores y trabajos rehechos. A pesar de estas diferencias, se observa que el punto común es que ambas tendencias aplican su propia visión del mejoramiento de los procesos, al flujo de trabajo, materiales o información.

La filosofía *Lean* (filosofía “sin pérdidas”) busca la generalización de estos enfoques particulares. Según Womack y Jones en su libro *Lean Thinking* (1996), esta filosofía ha demostrado ser una de las más efectivas en la búsqueda de una mayor competitividad.

Esta filosofía nace en la industria automovilística de Japón. La primera definición para occidente fue hecha a partir de un estudio comparativo de los estándares de producción de las plantas automovilísticas norteamericanas y japonesas. Los resultados fueron reveladores: se encontraron diferencias sustanciales en la mayoría de los indicadores de gestión, favoreciendo a las empresas japonesas, siendo la empresa

Toyota la más destacada [Womack et al., 1990]. A partir de estos resultados, nace una gran inquietud por el mundo occidental de conocer cuáles eran los patrones de desempeño que generaban estas diferencias en los desempeños.

Así se originó el Sistema de Producción Toyota para occidente (filosofía *Lean*) [Womack y Jones, 1996]. La primera definición para la filosofía *Lean* fue: “es un método de hacer más y más con menos y menos – menos esfuerzo humano, menos equipamiento, menos tiempo, menos espacio –, al tiempo que se acerca más y más a ofrecer a los clientes aquello que quieren exactamente”. La base de este pensamiento es eliminar *muda* (pérdidas), lo que se define como toda actividad humana que absorbe recursos, pero no crea valor [Womack y Jones, 1996]. Para poder cumplir este objetivo, la filosofía o pensamiento *Lean* se centra en especificar el valor (lo que el cliente quiere), secuenciar las actividades creadoras de valor de manera óptima, llevar a cabo estas actividades de manera continua (sin interrupción) y cada vez más eficaz. Estos objetivos se logran a través de cinco principios: Valor, flujo del valor (*value stream*), flujo del trabajo (*flow*), jalar/atraer/tirar la producción (*pull*) y perfección.

2.3. Filosofía Lean: Principios y Conceptos

En esta sección se detallan los cinco principios de producción *Lean* definidos por Womack y Jones (1996): Valor, flujo del valor (*value stream*), flujo del trabajo (*flow*), jalar/atraer/tirar la producción (*pull*) y perfección.

2.3.1. Especificar el valor

Según Wockman y Jones (1996) el punto de partida esencial dentro del pensamiento *Lean* es el valor. El valor sólo puede ser definido por el consumidor o cliente final y sólo es significativo cuando se expresa en términos de un producto específico (un bien o un servicio o a menudo ambos) que satisface las necesidades del cliente a un precio y plazo determinado.

El valor lo crea el productor. Desde el punto de vista del cliente, esta es la razón de su existencia. Pero por una serie de razones definir con precisión el valor es muy difícil para los productores. Esta es la razón porque el pensamiento *Lean* debe comenzar con un intento consciente de definir con precisión el valor en términos de productos específicos con capacidades específicas que se ofrecen a precios específicos a través del diálogo con clientes específicos.

En resumen, definir valor con precisión es el primer paso y base del pensamiento *Lean*, pues si no se logra alcanzar el valor que el cliente requirió, no vale de nada lo bien que produzca o altos niveles de eficiencia que se logren.

2.3.2. Identificación del Flujo del Valor

El flujo de valor es el conjunto de todas las acciones específicas requeridas para lograr crear un producto específico a través de tres tareas de gestión críticas de cualquier negocio [Womack y Jones, 1996]:

1. Solución de problemas: va desde el diseño conceptual hasta el detallado y desde la ingeniería hasta el lanzamiento del producto.
2. Gestión de la información: va desde que se inicia el pedido hasta la entrega a través de una programación detallada.
3. Procedimiento de transformación física: desde las materias primas hasta el producto terminado en las manos del cliente.

Identificar en su totalidad el flujo del valor para un producto (o familia de productos) es el segundo paso en el pensamiento *Lean*. Esto se debe a que el análisis de cadena de valor, casi siempre muestra tres tipos de acciones que se están produciendo a lo largo de ella [Womack y Jones, 1996]:

1. Pasos cuya creación de valor es indiscutible.
2. Pasos que no crean valor.
3. Pasos que no crean valor alguno y que pueden ser inmediatamente evitados.

El objetivo es minimizar los pasos que no agregan valor. Para lograr esto, el pensamiento *Lean*, requiere que se examine la totalidad de las actividades vinculadas a la creación y producción de un producto. El mecanismo de organización para hacer esto es lo que Womack y Jones (1996) denominaron *Lean Enterprise*, una conferencia (comunicación) permanente de todas las partes interesadas para crear un canal que facilite el flujo de valor. Este objetivo es algo cada vez más lejano debido a que en una época en que las distintas empresas están subcontratando y haciendo cada vez menos por ellos mismos, no existe una necesidad real de formar una alianza voluntaria que incluya a todas las partes interesadas para supervisar la cadena de valor, una alianza que examine todos los pasos de creación de valor y dure mientras la creación y producción de los productos estén en ejecución.

2.3.3. Flujo

Una vez que ha sido especificado el valor en forma precisa, y la cadena de valor de un producto específico ha sido plenamente asignada por el *Lean Enterprise*, obviamente eliminando aquellas tareas sin agregación de valor evidente, es el momento para el siguiente paso en el pensamiento *Lean*: hacer que fluyan las actividades que crean valor. Se debe tener en consideración que este paso requiere una reorganización completa de la estructura mental. Las cosas funcionan mejor cuando uno se centra en el producto y sus necesidades, en lugar de la organización o maquinaria, de modo que todas las actividades necesarias para el diseño se producen en el flujo continuo. Para tal objetivo, es necesario no seguir pensando y estructurando el trabajo en áreas o departamentos, funciones, lotes y colas, sino que en “equipos de producto”.

2.3.4. Pull (jalar, atraer)

El primer efecto visible de la conversión de los departamentos y lotes a los equipos de producto y el flujo, es que el tiempo necesario para ir desde el concepto hasta el lanzamiento, de la venta a la entrega, y de la materia prima hasta el cliente cae dramáticamente. Esto produce que se pueda tener la habilidad de diseñar, programar y

hacer exactamente lo que quiere el cliente en el momento en que él lo desee, es decir, hacer simplemente lo que el cliente realmente necesita. Esto es que el cliente pueda jalar (*pull*) el producto desde el productor como lo requiere y no que sea el productor quien empuja (*push*) un producto que el cliente no necesariamente desea. Al producir lo que el cliente desea en el momento que es requerido, se genera confianza por parte del cliente hacia el productor, obteniéndose como resultado una demanda estable. Además el productor al producir bienes que son requeridos en el momento, no genera inventario de productos.

2.3.5. Perfección

A medida que las organizaciones comienzan a especificar con exactitud el valor, identificar la secuencia de valor, hacer que los pasos creadores de valor de productos específicos fluyan continuamente, y dejar a los clientes jalar el valor desde la empresa, los implicados en la producción caen en cuenta que no hay fin al proceso de reducción de esfuerzo, tiempo, espacio, costo, y los errores, al tiempo que se ofrece un producto que es cada vez más cerca de lo que el cliente realmente quiere. De repente la perfección, el quinto y último principio de pensamiento *Lean*, es algo que parece cada vez más tangible. Esto se debe a que los cuatro principios iniciales interactúan unos con otros en el círculo virtuoso. Al lograr que el valor fluya más rápido, se encuentran pasos escondidos dentro de la cadena de valor que no crean valor. Y cuanto más se tire o jale, se revelan cada vez más los obstáculos que impiden el flujo, de manera que puedan eliminarse. Los equipos de producto en el diálogo directo con los clientes siempre encuentran maneras de especificar el valor con más precisión y muchas veces se aprende la manera de mejorar el flujo y tirar el producto.

Tal vez el estímulo más importante a la perfección es la transparencia, el hecho que en el sistema *Lean* todos (los subcontratistas, proveedores de primer nivel, integradores de sistemas, distribuidores, clientes, empleados) pueden ver todo, con lo cual resulta más fácil descubrir mejores maneras de crear valor. Además hay que añadir,

que existe una retroalimentación casi inmediata y muy positiva para los empleados haciendo mejoras, una característica clave del trabajo *Lean* y un poderoso estímulo para continuar los esfuerzos para mejorar.

2.4. Filosofía *Lean* en la Industria de la Construcción

2.4.1. Construcción *Lean* versus Construcción Tradicional

La construcción *Lean* intenta adaptar los conceptos de la filosofía de producción *Lean* a la construcción. Lauri Koskela ha sido su principal exponente y fue quién a partir de la conceptualización del pensamiento *Lean* hecha por Womack et al. (1990), desarrolló una teoría adaptada al ámbito de la construcción conocida como TFV (Transformación – Flujo – Valor). De acuerdo a los estudios de Koskela (2000), la construcción presenta características que hacen difícil la aplicación de la filosofía de producción *Lean* como fue propuesta por Wockman y Jones (1996), por lo que generó una teoría basada en la filosofía de producción *Lean*, pero que fuera aplicable a la construcción [Pavez, 2007].

Visión de la Construcción Tradicional

Actualmente en la industria de la construcción, la producción y administración de proyectos enfocan sus esfuerzos en la gestión de las actividades, ignorando las consideraciones de flujo y valor [Koskela 92] [Koskela y Huovila 97]. Tradicionalmente la construcción ha basado su producción en el concepto de transformación: todo producto (*output*) es resultado de la transformación de materias primas (*input*), mediante un proceso de producción establecido [Koskela, 2000].

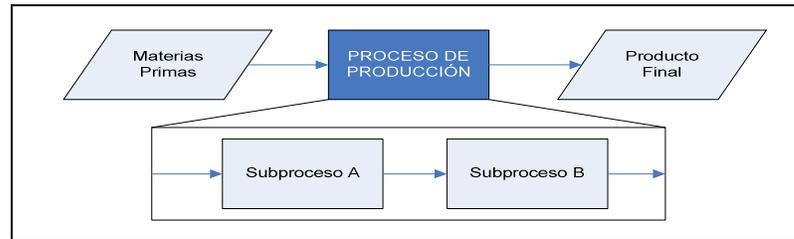


Figura 2-1: Modelo de conversión tradicional
(Adaptada [Walter, 1985] [Cruz 1996])

Mediante esta visión del sistema de producción, se considera que el proceso de transformación es un conjunto de subprocesos, los cuales también son procesos de transformación. Bajo esta visión se plantea que [Koskela, 2000] [Pavez, 2007]:

- El costo total del proceso se calcula sumando los costos de los componentes individuales.
- Es beneficioso aislar los procesos de producción del ambiente externo a través de *buffers* físicos u organizacionales.
- El valor de los *outputs* de un proceso está asociado con el costo de los *inputs*, de manera que la noción de valor agregado (o valor de transformación) queda definida como la diferencia que existe entre el costo de los insumos y los ingresos de ventas de este bien o servicio.

Según Koskela (2000), el principal problema de esta conceptualización del sistema de producción es que no distingue entre las actividades que agregan valor y las que no agregan valor (ej: transporte o inspección) al producto final. Además se establece que la minimización de costos totales se obtiene por medio de la minimización de los costos de los subprocesos, ignorando los efectos producidos por la relación directa que existe entre cada uno, generando malas estimaciones.

Visión de la Construcción Lean

Construcción *Lean* es definido por Koskela (1992) bajo el siguiente enunciado:

“La producción es un flujo de materiales y/o información desde las materias primas hasta el producto final. En este flujo, el material es procesado (transformado), inspeccionado, permanece en espera o en movimiento. Estas actividades son inherentemente diferentes. El procesamiento representa el aspecto de transformación de la producción, en cambio, la inspección, el movimiento, y la espera representan el aspecto de flujo de la producción”.

En esta definición se hace la distinción entre las actividades que agregan valor al producto (actividades de transformación) y las actividades de flujo, que si bien no aportan valor al producto final, son necesarias en una medida mínima para que el proceso se lleve a cabo (transporte, inspección, por ejemplo). Esto implica una visión y análisis distinto a la forma tradicional de ver y abordar la producción. La mayor implicancia de esta distinción es que el mejoramiento de los procesos puede realizarse de forma simultánea en ambos tipos de actividad, optimizando las actividades que agregan valor al producto y reduciendo (o eliminando) las actividades que no agregan valor [Pavez, 2007].

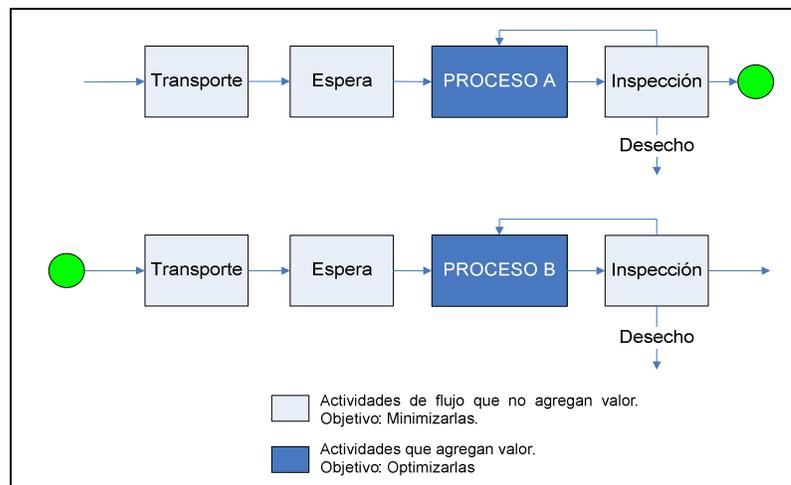


Figura 2-2: Enfoque Lean. La producción como proceso
(Adaptada [Koskela, 1992])

Además en este modelo se suma el valor a lo largo del proceso de producción. Considerando las páginas anteriores, donde se estudió que el valor de un producto se

puede determinar sólo en relación al cliente, se advierte además que las metas de producción también deben orientarse en satisfacer las necesidades de éste, contraponiéndose al modelo tradicional de transformación, donde los subprocesos de producción son definidos antes que las necesidades del cliente en términos del proceso y el producto [Koskela, 1992].

En la tabla 2-1, se aprecia un cuadro comparativo entre el enfoque de producción tradicional y la filosofía de producción *Lean*.

Tabla 2-1: Comparación entre enfoques de producción
(Adaptada [Koskela, 1992])

	Enfoque Convencional	Filosofía de producción <i>Lean</i>
Concepción de actividades de producción	Actividades como conjunto de operaciones o funciones	Actividades concebidas como flujos de materiales e información
Objetivo de control de producción	Actividades son controladas para obtener costos menores	Flujos de actividades son controlados para obtener una mínima variabilidad y tiempo de ciclo
Visión de Costo de un proceso	Costo total del proceso	<div style="background-color: #000080; color: white; padding: 5px; text-align: center;">Costo de actividades que no agregan valor</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;">Costo de actividades que agregan valor</div>
Razones para el mejoramiento	Aumenta la eficiencia del proceso. Mejoras periódicamente con respecto a la productividad, mediante la implementación de nuevas tecnologías	Flujos mejorados continuamente con respecto a las pérdidas y el valor, y periódicamente mediante la implementación de nuevas tecnologías. Se busca reducir o eliminar las actividades que no agregan valor e incrementar la eficiencia de aquellas que agregan valor

Analizando los párrafos anteriores se puede inferir la relevancia de TVF (Transformación – Flujo – Valor) en la construcción *Lean*: la transformación de información o materias primas para agregar valor, por medio de un flujo de actividades buscando la máxima agregación de valor para el cliente tanto en el proceso y como en el producto final (control de la producción desde el punto de vista del cliente).

Tabla 2-2: TFV integrados
(Adaptada de [Koskela, 2000])

	Perspectiva de Transformación (T)	Perspectiva de Flujo (F)	Perspectiva de Generación de Valor (V)
Conceptualización de la producción	Como transformación de inputs en outputs	Como flujo de materiales, compuesto de transformaciones, inspecciones, transporte y esperas	Como un proceso donde el valor para el cliente es generado a partir de la plena satisfacción de sus necesidades
Principios principales	Hacer la producción en forma eficiente	Eliminación (minimización) de pérdidas (actividades que no agregan valor)	Eliminación de pérdidas de valor
Métodos y prácticas	WBS, MRP, OBS	Flujo continuo, control de producción pull, mejoramiento continuo	Métodos de captura de requerimientos, despliegue de función de calidad
Contribución práctica	Cuidar lo que hay que hacer	Cuidar que lo innecesario sea realizado lo menos posible	Cuidar que lo que requiere el cliente es satisfecho de la mejor forma posible
Aplicación práctica de la perspectiva	<i>Task Management</i>	<i>Flow Management</i>	<i>Value Management</i>

2.4.2. Principios y Conceptos de la Construcción Lean

Además de los conceptos básicos de TFV previamente revisados, dentro de la filosofía de la construcción *Lean* se han definido 11 principios para la gestión de procesos [Koskela, 1992], con el fin de guiar y facilitar la comprensión e implementación de esta nueva filosofía. Basados fuertemente en los principios de TFV, cada uno tiene una fuerte interacción con el resto, por lo que es altamente recomendable que sean aplicados en forma integrada en la gestión de procesos (Koskela, 2000). Mayor explicación de cada uno de estos principios pueden ser encontrados en el Anexo A.

Tabla 2-3: Principios Construcción *Lean*
[Koskela, 2000]

Principios de la Construcción <i>Lean</i>:	
Para el diseño, mejoramiento y control de los procesos de producción	
1. Reducir la participación de las actividades que no agregan valor.	7. Aumentar la transparencia de los procesos.
2. Aumentar el valor del producto a través de la consideración sistemática de las necesidades del cliente.	8. Enfocar el control en el proceso global.
3. Reducir la variabilidad.	9. Introducir mejoramiento continuo en el proceso.
4. Reducir los tiempos de ciclo.	10. Mantener un equilibrio entre mejoramiento de los flujos y los mejoramientos de la eficiencia de la conversación.
5. Simplificar a través de la reducción del número de etapas, partes y relaciones.	11. Usar <i>benchmarking</i>
6. Aumentar la flexibilidad de los resultados.	

2.5. Filosofía Lean y el diseño de Proyectos

“El diseño es en general un proceso de desarrollo progresivo e iterativo de información y detalle usado para describir un proyecto. La ingeniería es un proveedor a la construcción: proveyendo planos y especificaciones. La ingeniería provee a adquisiciones con requisitos detallando los equipos y artículos a fabricar, el volumen de materiales que necesitan ser comprados y qué servicios necesitan ser contratados” [Ballard ,1997]

Dentro de lo que es la filosofía de construcción *Lean*, la producción se entiende como un proceso integrado de diseño y construcción. Sin embargo, el diseño y construcción son muy diferentes [Ballard & Zabelle, 2000b]:

- El diseño es lo que produce la receta y en la construcción se prepara la comida. Esta es la antigua distinción entre la planificación y la acción.
- También difieren en el concepto de calidad adecuado para cada uno. El diseño es juzgado en última instancia según la aptitud que el producto diseñado tenga para el uso y los efectos para los cuales se está produciendo. Por otra parte, el producto en sí es evaluado por su adecuación a la geometría y a las especificaciones expresadas en el diseño.
- La variabilidad de los resultados es indeseada en la construcción conforme el concepto de valor, donde la calidad está relacionada con la conformidad con los requisitos. Sin embargo, si los productos de diseño fueron totalmente previsible, el proceso de diseño no estaría agregando valor a la creación del producto.
- En la construcción la iteración es trabajo rehecho; claramente un tipo de pérdida que debe evitarse. Por el contrario, en el diseño a menudo se requiere la producción de productos incompletos o provisionales a fin de desarrollar la comprensión tanto de los problemas de diseño y las soluciones alternativas.

Ballard y Zabelle (2000b) plantean que diseñar se puede comparar con una buena conversación, en la cual todos se van con una diferente y mejor comprensión de la con que llegaron. Cómo promover la conversación (iteración), la forma de diferenciar entre iteraciones positivas (la generación de valor) y las negativas (desperdicio o pérdida) de iteración, y cómo reducir al mínimo la iteración negativa son todas las habilidades necesarias para la gestión de diseño.

Actualmente el diseño es un proceso que se divide en varias secuencias temporales, y diferentes especialistas son los responsables de su ejecución. Los problemas de esta secuencia de trabajo se han debatido durante muchos años. El principal problema detectado es la poca interacción entre el diseño, la construcción y sus respectivos especialistas [Alarcón & Mardones, 1998]. Esto produce que muchas veces se tenga que trabajar sobre diseños incompletos, produciéndose soluciones no óptimas, falta de constructabilidad y un alto porcentaje de órdenes de cambio (tanto en el diseño como posterior trabajo rehecho en la construcción).

2.5.1. Problemas en el diseño

Los problemas asociados a esta etapa de los proyectos son variados, aun así, esta área de la ingeniería es una de las menos atendidas, presentándose diversos problemas [Coles, 1990] [Sverlinger, 1996] [Freire, 2000]:

- Mala comunicación (con cliente externo y clientes internos)
- Pobres reuniones preparativas
- Insuficientes conocimientos técnicos de los diseñadores
- Falta de confianza en pre-planificar el trabajo de diseño
- Falta de documentación adecuada
- Ausente o deficiente información de entrada
- Desequilibrada asignación de recursos
- Falta de coordinación entre disciplinas

- Errática toma de decisiones

Uno de los problemas que se destacan a menudo del proceso de diseño es la información deficiente disponible para poder desarrollar en forma adecuada las actividades que se involucran en esta etapa. [Tzortzopoulos y Formoso, 1999], [Cross, 1994]. Esto se produce muchas veces por la falta de claridad de los requerimientos del cliente, quien muchas veces no tienen la capacidad de hacer sus necesidades explícitas [Cross, 1994]. Esto genera que el diseñador tenga una doble responsabilidad: entender bien el problema expuesto por su cliente y la búsqueda de una solución adecuada.

Por otra parte, durante todo el proceso existe una alta interdependencia y necesidad de intercambio entre diversos participantes, los cuales tienen variados criterios que son necesarios alinear y optimizar, para llegar a una solución adecuada e íntegra en cada una de las especialidades involucradas. Todo este intercambio e intentos por obtener un diseño óptimo se ven afectados por la información inadecuada, por las restricciones de plazo y presupuesto (generalmente existentes) y la mala coordinación entre especialidades [Josephson y Hammarlund, 1996] [Freire, 2000].

Frente a todas estas problemáticas, normalmente se deja que los diseñadores resuelvan la secuencia de trabajo con la que deben realizar sus actividades. No obstante, esta situación es no deseable pues se deriva en un proceso de diseño caótico donde no es posible alcanzar los principios de valor y minimización de pérdidas, produciéndose diseños con baja constructabilidad, documentos con errores que posteriormente afectaran la etapa de construcción. Todos los detalles no definidos adecuadamente durante la etapa de diseño se conviertan en problemas que tienen que ser resueltos por el contratista en obra. Por lo general los problemas son detectados justo antes de comenzar la construcción de la tarea específica y a veces incluso después que la tarea ha sido cumplida. Los resultados son pérdidas de diferente tipo y magnitud. [Alarcón & Mardones, 1998].

2.5.2. Conceptualizaciones en diseño

Como se ha estudiado anteriormente (sección 2.4), sólo las actividades de conversión que agregan valor para el cliente son las que le agregan valor al producto [Alarcón y Mardones, 1998]. Además, normalmente los procesos del diseño se ejecutan a partir de los conceptos del esquema de la visión tradicional de conversión.

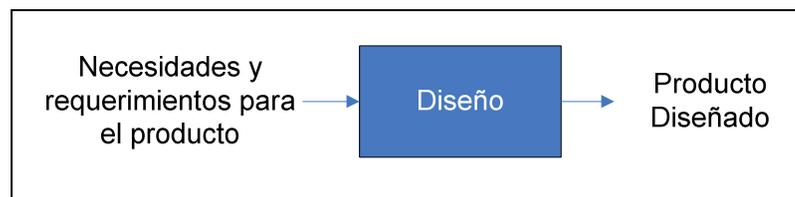


Figura 2-3: El diseño es un proceso de conversión
(Adaptada [Huovila et al., 1997])

Por ejemplo Mistree et al. (1993) presenta una definición muy común del proceso de diseño: “Diseñar es un proceso de convertir la información que caracteriza a las necesidades y requisitos de un producto en el conocimiento sobre el producto”. A su vez Hubka y Eder (1988) postulan: “Ingeniería de Diseño es un proceso [...] a través del cual la información en la forma de requisitos se convierte en información en la forma de descripción de los sistemas técnicos [...]”.

En efecto, la conceptualización convencional de la etapa de diseño, tanto en la práctica como en la teoría, se basa en el modelo de transformación. En el marco de esta conceptualización, el mejoramiento del diseño y su gestión se ha basado en la utilización de herramientas para la mejora de la eficiencia de las distintas tareas (CAD, modelos de cálculo, modelos de simulación, herramientas de apoyo a la decisión). El enfoque de este mejoramiento apunta a hacer más eficiente la toma de decisiones, considerado que el contenido principal de las tareas de diseño se compone de las decisiones o de la resolución de problemas [Koskela, 2000].

Por otra parte, en la figura 2-4 se presenta el modelo propuesto por Huovila et al. (1997), en donde se muestra el proceso de diseño como un flujo y no solamente como una gran actividad de conversión.

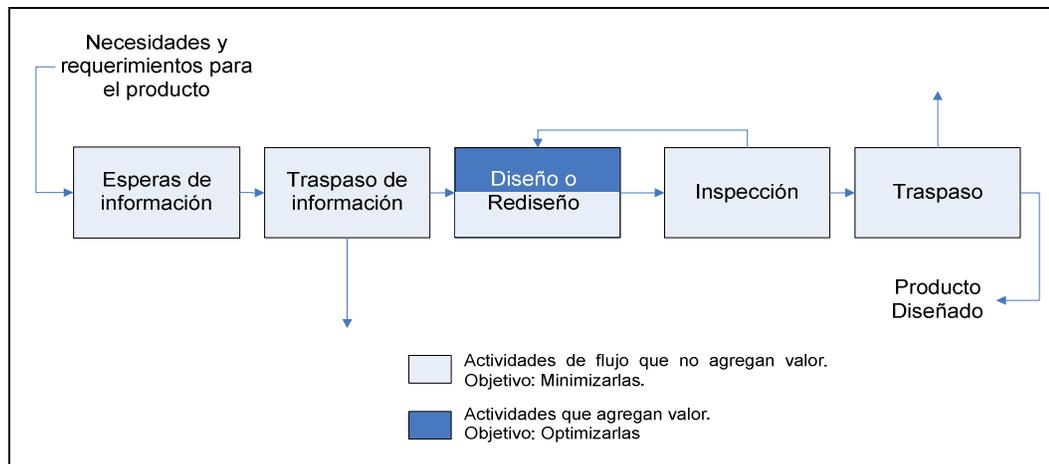


Figura 2-4: Diseño como flujo
(Adaptada [Huovila et al., 1997])

En el diagrama se explicita que las actividades que no contribuyen a la conversión son la inspección, la espera y el traspaso de la información. Por otra parte, se aprecia como el diseño mismo es la única actividad de conversión. El rediseño debido a errores, omisiones e incertidumbres también forma parte de las pérdidas del proceso. Al evaluar, el diseño desde esta perspectiva se puede concluir que una pequeña porción del tiempo total de diseño se utiliza en las actividades de conversión (Alarcón y Mardones, 1997). En efecto Freire (2000) estudia la distribución de tiempos en el proceso de diseño. En el gráfico 2-1 se muestra la distribución de los tiempos de ciclos para el proceso de diseño obtenidos en este estudio.

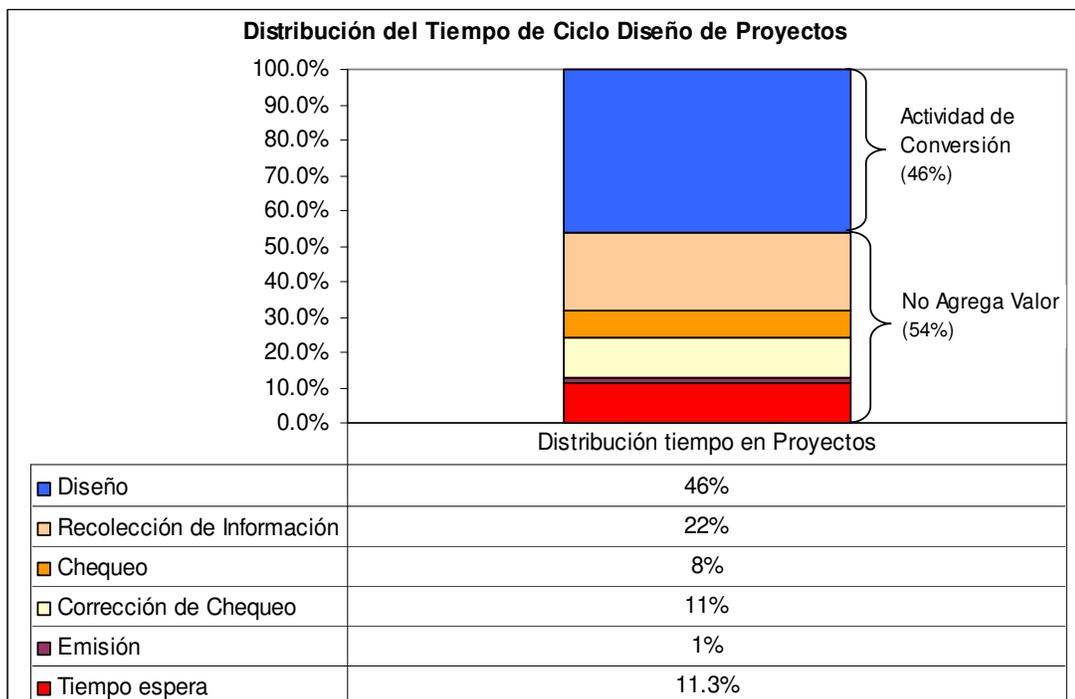


Gráfico 2-1: Distribución de tiempo de Ciclo etapa de diseño
(Adaptado [Freire, 2000])

Se puede apreciar como menos de la mitad del tiempo es invertida en actividades de conversión por si mismas. Además, Cooper (1993) estima que en la etapa de diseño de grandes proyectos de construcción es normalmente entre medio a dos y medio ciclos de trabajo rehecho. La reducción de las pérdidas en un escenario como este tiene un alto potencial de mejoramiento. En la tabla 2-4 se presentan las principales causas de pérdidas asociadas al flujo en el diseño establecidas por diferentes investigadores, quienes proponen distintas acciones de mejoramientos para cada causa de pérdida.

Tabla 2-4: Principales causas de pérdidas asociadas al flujo del diseño con sus acciones para el mejoramiento

(Adaptada [Huovila et al., 1997] [Ballarda y Koskela, 1998] [Koskela, 2000])

Causa de Pérdida	Acción para el mejoramiento
Incertidumbre	<p>Para reducir la incertidumbre, especialmente en etapas iniciales del diseño se debe:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. La definición del alcance del diseño se debe hacer de manera sistemática, para evitar cambios de alcance, falta o retraso de información por parte del cliente. 2. Todas las fases del ciclo de vida se consideran simultáneamente, desde la etapa conceptual, para evitar iteraciones debidas a limitaciones en las fases posteriores. 3. Usar Prototipos, simulaciones, etc. 4. En etapas más tardías del proyecto, la solución diseñada es prácticamente congelada. 5. Los errores de diseño son disminuidos por medio de gestión de calidad.
Altos tiempos de espera y esfuerzos en la transferencia de la información.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Equipos de trabajo ubicados en un mismo lugar . De esta forma la información puede ser transferida de manera informal y oral. 2. Las largas esperas por la información, además se deben a que la producción de cada fase se transfiere a la siguiente en grandes lotes de trabajo. Se recomienda descomponer las tareas de diseño en lotes de trabajo más pequeños. 3. Además las esperas se pueden producir por la necesidad de esperar por las decisiones del cliente. Se sugiere mejorar la integración de la toma de decisiones del cliente con el proceso de diseño.
Bloques de tareas en pareja produce que la iteración comience con información incompleta.	Programar bloques de tareas paralelas.

Por otra parte, el diseño es generador de valor. Este punto de vista se centra en el valor generado por el proveedor al cliente. El valor se genera a través de satisfacción de las necesidades y requerimientos del cliente que son capturados y convertidos en una o varias etapas, a un producto o servicio prestado al cliente.

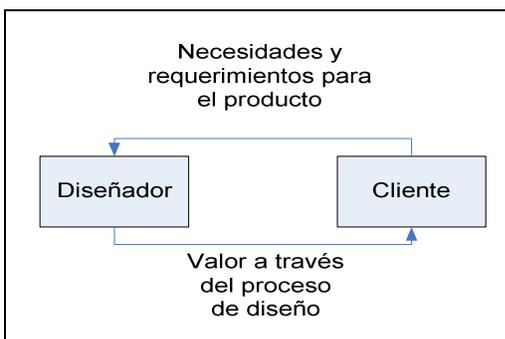


Figura 2-5: Diseño como generador de valor

Sin embargo, durante este proceso hay varios casos de pérdida de valor. En la tabla 2-5 se presentan las principales causas de pérdidas en términos de valor en el diseño, establecidas por diferentes investigadores, quienes proponen distintas acciones de mejoramientos para cada causa de pérdida.

Tabla 2-5 Principales causas de pérdidas asociadas a la generación del valor del diseño con sus acciones para el mejoramiento
(Adaptada [Huovila et al., 1997] [Alarcón y Mardones, 1997] [Koskela, 2000])

Causa de Pérdida	Acción para el mejoramiento
<p>Requisitos:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Parte de los requisitos se han perdido desde el principio. 2. Parte de los requisitos se pierden durante el proceso de diseño (por ejemplo, la intención de diseño de un diseñador no se comunica a las siguientes fases, y puede ser estropeado por las decisiones en ellas). 	<ol style="list-style-type: none"> 1. El análisis riguroso de los requisitos y necesidades, al principio, con una estrecha cooperación entre el cliente; 2. La administración sistemática de los requisitos por medio de herramientas que faciliten esta tarea como lo es la aplicación de Quality Function Deployment (QFD).
<p>Pocas mejoras u optimizaciones en las soluciones del diseño</p>	<p>La mejora y la optimización del proceso de diseño a través de iteraciones rápidas entre todos los involucrados, que cuenten con información tanto sobre el diseño y la construcción. Para esto, todas las fases del ciclo de vida del proyecto debe ser consideradas simultáneamente desde la fase conceptual.</p>
<p>Errores de calidad permanecen en el producto final</p>	<p>Gestión de calidad</p>

2.5.3. El modelo TFV en el diseño

En la tabla 2-6 se resumen los tres puntos de vista sobre el diseño. Si bien, cada una de estas conceptualizaciones se han analizado en forma separada, en realidad, coexisten dentro del proceso de diseño, como diferentes aspectos de las tareas asociadas al proceso: cada tarea en sí misma es una transformación, además, cada tarea es una etapa en el flujo total de diseño, donde las tareas anteriores tienen un impacto en la subsiguiente a través de la puntualidad, la calidad de la producción, etc. Además, los requisitos de clientes (internos y/o externos) dirigen la transformación de toda la información de entrada a la solución en cada tarea [Koskela, 2000].

Tabla 2-6: TFV integrados en el diseño
(Adaptada [Huovila et al., 1997] [Freire, 2000] [Koskela, 2000])

	Perspectiva de Transformación (T)	Perspectiva de Flujo (F)	Perspectiva de Generación de Valor (V)
Conceptualización del diseño	Como una conversión de requerimientos en un producto de diseño.	Como flujo de información, compuesto de conversión, inspecciones, traspaso (o movimiento) y esperas	Como un proceso donde el valor para el cliente es generado a partir de la plena satisfacción de sus requerimientos
Principios principales	Descomposición jerárquica; control y optimización de actividades individuales.	Eliminación (minimización) de pérdidas (actividades que no agregan valor); reducción del tiempo	Eliminación de pérdidas de valor
Métodos y prácticas	WBS, CPM, Matriz de organización y responsabilidades	Reducción de incertidumbre, trabajo en equipo, integración de herramientas, partnering	Análisis riguroso de requerimientos, manejo sistemático de traspaso de requerimientos, optimización.
Contribución práctica	Cuidar lo que hay que hacer	Cuidar que lo innecesario sea realizado lo menos posible	Cuidar que lo que requiere el cliente es satisfecho de la mejor forma posible
Aplicación práctica de la perspectiva	<i>Task Management</i>	<i>Flow Management</i>	<i>Value Management</i>

Por medio del modelo TFV, la filosofía *Lean* permite la aplicación de estos tres enfoques del diseño. Al incorporar nuevas formas de visualizar el proceso de diseño, se logra aumentar el entendimiento y comprensión de cómo funciona. Al conocer mejor el proceso y entenderlo, es posible implementar herramientas que colaboren en la reducción de pérdidas y generación de valor a lo largo del proceso, haciendo posible el mejoramiento.

2.5.4. Situación del diseño en Chile

En investigaciones realizadas en Chile se concluye que la realidad del diseño en Chile, está en la línea de la visión tradicional de modelar al diseño (diseño como conversión).

Mardones (1997) identifica los siguientes problemas en los diseños de edificios en Santiago:

- Existe una mala traducción de los requerimientos del mandante por parte de los diseñadores.
- Hay descoordinación entre las especialidades, representando un 17.1% de las causas de los defectos en los diseños.
- Al inicio de las obras, se presentaron problemas relacionados con la detección de información faltante y no clara.
- El principal problema que presentaron los diseños fue la falta de información (no entregaron la información suficiente para lograr el pleno conocimiento de las obras).
- Las deficiencias propias de las especialidades, las inconsistencias entre planos y especificaciones, la ambigüedad de estas últimas y la falta de control en los documentos de diseño, tienen como resultado que el 70.7% de los defectos se debieron a una insuficiente calidad de los diseños.

- El mandante generó un 10% de los defectos en los diseños, lo que se debió al no establecimiento de sus requerimientos, lo que implicó principalmente rehacer trabajos y el retraso de actividades.

Por otra parte, Freire (2000) distinguió siete categorías de pérdidas que representan casi el 70% del total de las pérdidas más frecuentes. Las categorías son:

1. Clarificación de necesidades
2. Trabajo rehecho
3. Control de actividades internas
4. Revisión interdisciplina
5. Interrupciones
6. Tiempos de espera
7. Exceso de detalles irrelevantes en planos

Al analizar cuales son las causas de estas pérdidas se concluyó que las causas que representan más del 70% de las causas más frecuentes son:

1. Información no disponible
2. Burocracia, papeleo
3. Desconocimiento de requerimientos del cliente
4. Capacitación
5. Coordinación interdisciplinaria
6. Mala planificación
7. Información atrasada
8. Actividades precedentes incompletas/ineficientes

Además se estudiaron las causas de pérdida asociadas a distintas categorías:

1. Causas de pérdidas asociadas al cliente.
2. Causas de pérdidas asociadas a la administración.
3. Causas de pérdidas asociadas a la gestión del proyecto
4. Causas de pérdidas asociadas a la información.

Se determinó lo siguiente:

- Para la categoría del cliente, la causa más mencionada es el desconocimiento de requerimientos (definición).
- Para la categoría de la administración, la causa más mencionada es la burocracia, papeleo.
- Para la categoría de proyecto, la causa más mencionada es coordinación interdisciplinar.
- Para la categoría de la información, la causa más mencionada es información no disponible.

Freire (2000) al implementar mejoras por medio de herramientas de la filosofía *Lean* obtuvo mejoramientos significativos en la etapa de diseño de los proyectos evaluados.

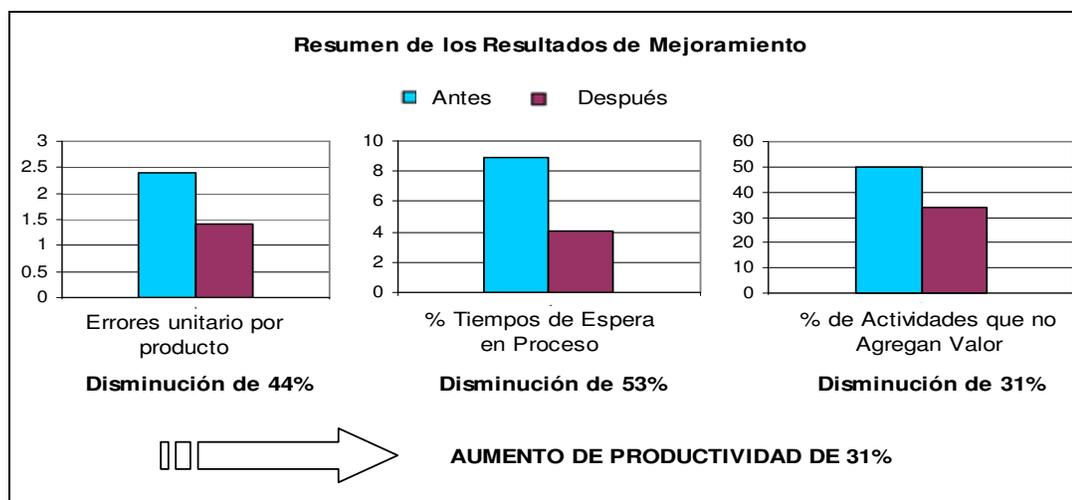


Gráfico 2-2: Resultados de mejoramiento al implementar la filosofía Lean en el diseño
(Adaptado [Freire, 2000])

Estos resultados, son un indicio que la aplicación de los conceptos de la filosofía *Lean* son válidos para mejorar el proceso de diseño en Chile.

2.6. Resumen

En este capítulo se trataron tres temas principales: la filosofía *Lean*, la filosofía de *Lean Construction* (a nivel global y en la etapa de diseño) y la realidad del proceso de diseño.

En el primer aspecto, se revisaron los orígenes de esta filosofía, así también como sus principales conceptos y principios. En el caso de la filosofía de *Lean Construction* se comparó esta filosofía versus la concepción tradicional de los procesos. De esta manera, se observó que la esencia de *Lean Construction* radica en los conceptos de maximización de valor y eliminación de pérdidas, reconociendo que existen dos tipos de tareas en los procesos: conversión y flujo. En el caso de la etapa de diseño, se muestra que, bajo la filosofía de *Lean Construction*, este proceso cuenta con tres visiones coexistentes en él: el proceso de diseño como conversión, como flujo y como agregación de valor. Bajo cada una de estas visiones se realizaron comparaciones y establecieron estrategias de mejoramiento para el proceso del diseño.

Finalmente se analizaron las principales fuentes y causas de pérdidas en el proceso de diseño, tanto desde el punto del producto y como del proceso. Se evaluó además que, según estudios previos, la realidad de los proyectos de diseño en Chile, presenta las mismas problemáticas detectadas en la literatura global y que la aplicación de los principios de *Lean Construction* ha logrado mejoras considerables en el desempeño del proyecto, presentando una base para el desarrollo de nuevas metodologías de trabajo que se basen e incentiven estos principios de producción

3. LEAN PROJECT DELIVERY SYSTEM (LPDS)

3.1. Introducción

En este capítulo, se describirá el modelo de *Lean Project Delivery System* (LPDS) y los principios que lo rigen. Se pondrá especial énfasis en explicar 4 de los aspectos que lo componen: Estructuración del Trabajo, Control de Producción, Definición del Proyecto y Diseño *Lean*. Dado el alcance de este estudio, se presentan además herramientas que facilitan la aplicación de los principios *Lean* en la etapa de diseño: el uso de tecnologías de la información, la planificación por fases (*Phase Planning*) y el sistema del último planificador (*Last Planner System*).

3.2. Antecedentes Generales

El LPDS es un modelo, planteado por el *Lean Construction Institute* (LCI), que tiene como objetivo mejorar el proceso de cómo se diseña y construye. Este modelo consta de 12 módulos, de los cuales 9 están organizados en 4 fases o tríadas interconectadas que se extienden a partir de la definición del proyecto, pasando por el diseño, el abastecimiento y el montaje, más un módulo de control de la producción y el módulo de estructuración de trabajo, que se extienden a través de todas las fases del proyecto. Finalmente se tiene el módulo de evaluación post-ocupación, que une el final de un proyecto con el comienzo del siguiente [Ballard, 2000]. En la figura 3-1 se puede apreciar claramente la estructura mencionada.

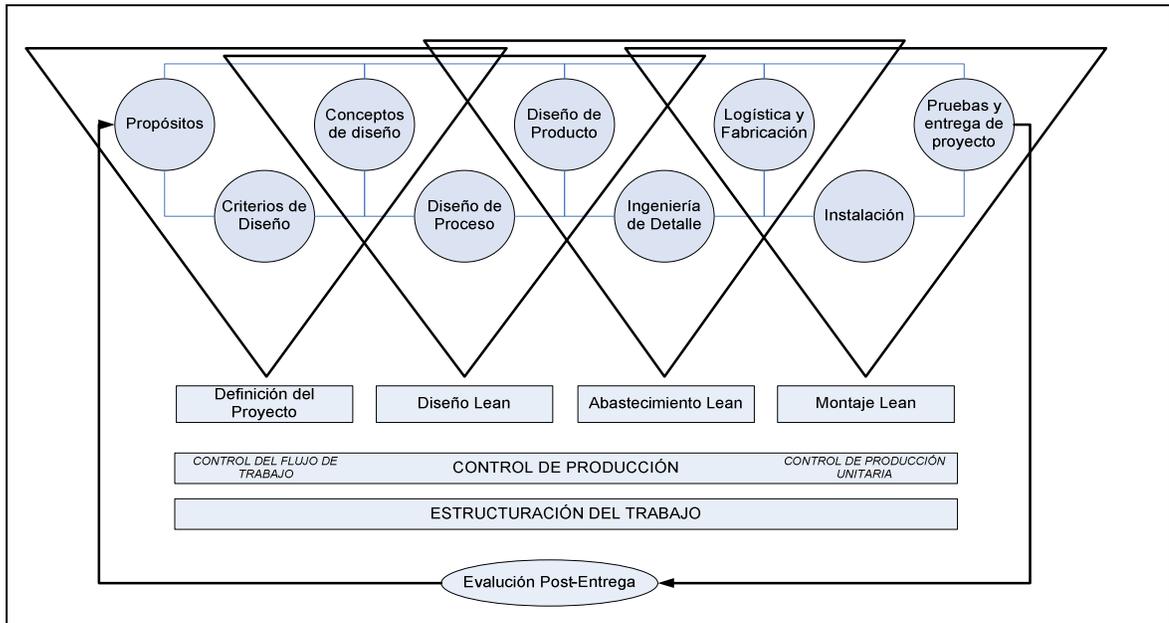


Figura 3-1: Estructura LPDS
(Adaptado de [Ballard, 2000])

En este modelo existen módulos no directamente vinculados a la ejecución del proyecto, sino a la estructuración y planificación del trabajo y su posterior control:

- Estructuración del Trabajo y Evaluación Post-entrega: son los únicos módulos unitarios.
- Control de Producción: consiste en control del flujo del trabajo y en un control de producción unitaria. En las primeras fases del proyecto existe un mayor control de los flujos, por ser predominantes y poco a poco este se va inclinando hacia el control unitario en las fases finales de la ejecución del proyecto.

Dentro de esta estructura, además se pueden observar cuatro fases claras en la vida del proyecto:

- Definición del Proyecto: fase conformada por la triada de los módulos de determinación de los propósitos (necesidades y criterios de valor de *stakeholders*¹), criterios de diseño y diseño conceptual.
- Diseño *Lean*: fase conformada por la triada de los módulos de diseño conceptual, diseño de procesos y diseño de productos.
- Abastecimiento *Lean*: fase conformada por la triada de los módulos de diseño de productos, ingeniería de detalle y fabricación y logística.
- Montaje *Lean*: fase conformada por la triada de los módulos de fabricación y logística, instalación en obra y pruebas y entrega del proyecto.

El rango de aplicación de este modelo está definido por la interacción de los proyectos y los sistemas de producción asociados. Algunos de los módulos de LPDS pueden ser aplicados independientemente de la utilización completa del modelo. Por ejemplo, el módulo de control de producción puede ser aplicado para la gestión de proyectos en general. A su vez, LPDS puede ser aplicado sólo a proyectos particulares, sistemas de producción temporales, como los utilizados para el desarrollo de un nuevo producto.

Las características esenciales de LPDS se pueden resumir en siete apartados definidos por Ballard (2000):

1. El proyecto es estructurado y gestionado como un proceso generador de valor.
2. Los *stakeholders* involucrados posteriormente en el proyecto participan en la pre-planificación y el diseño del proyecto a través de equipos multidisciplinarios.

¹ *Stakeholders*: Todos los involucrados en el ciclo de vida del proyecto: mandante, diseñadores, calculistas, constructores, contratistas, proveedores, etc.

3. El control del proyecto tiene la tarea de ejecución en lugar de depender de la detección de varianza de lo ya ocurrido.
4. Los esfuerzos de optimización están enfocados en generar un flujo de trabajo confiable en lugar de mejorar productividad.
5. Técnicas *pull* se utilizan para regular el flujo de materiales e información a través de redes de especialistas que cooperan.
6. Holguras (*buffers*) de capacidad e inventario son utilizados para absorber variabilidad.
7. *Loops* de retroalimentación son incorporados en todo nivel, orientados a un ajuste rápido del sistema. Se mantiene un aprendizaje permanente.

3.3. Estructura LPDS asociada al diseño de proyectos

3.3.1. Estructuración del Trabajo

Se entiende por estructuración del trabajo [Ballard 2000] al desarrollo del diseño de operaciones y procesos alineados con el diseño de productos, la estructura de las cadenas de suministro, la asignación de recursos y los esfuerzos del diseño en torno a la constructabilidad. El propósito de la estructuración del trabajo es hacer que el flujo de trabajo sea más confiable y rápido y que a su vez, se entregue valor al cliente.

Generalmente, la planificación del proyecto se enfoca en la estructura organizacional y la creación de estructuras de descomposición trabajo (*work breakdown structure, WBS*) que dividen el trabajo a realizar. Lo que se busca con la estructuración del trabajo aquí planteada, es incluir el sistema de producción que normalmente es invisible y dado por sentado [Ballard et al. 2001]. Para lograr este objetivo es necesario cambiar el enfoque desde solamente la producción como transformación de *inputs* al concepto de producción de transformación-flujo-valor (*TFV*) planteado por Koskela (2000).

Las decisiones entorno a la estructuración del trabajo son hechas a lo largo de la vida del proyecto. Por ejemplo, decisiones concernientes a la estructura de las cadenas de suministro pueden ser tomadas en la definición del proyecto, o la selección de un componente en la ingeniería de detalle puede impactar el flujo de trabajo en el proceso de montaje. Para poder realizar estas decisiones es necesario que desde el proceso mismo de diseño, contratistas, constructores y en general todos aquellos asociados en etapas posteriores del proyecto, participen del equipo de diseño. Esta integración entre diseñadores y contratistas especialistas en un equipo que efectivamente produzca el diseño, es uno de los principales desafíos que enfrenta la industria a medida que se orienta a una forma de trabajo bajo el modelo *Lean* [LCI, 1999].

La estructuración del trabajo incluye los siguientes subprocesos, que generalmente ocurren en el orden listado [LCI, 1999]:

- **Fragmentar:** Se descompone todo en partes. Tanto el proceso como el producto son descompuestos en fragmentos (*chunks*). El producto a ser diseñado y construido es dividido en sistemas, subsistemas, y componentes que le entregaran las funcionalidades y propiedades deseadas y/o requeridas. El proceso de diseño, abastecimiento y montaje son divididos en fases temporales.
- **Secuenciar:** Se determina el orden en que son ejecutados los fragmentos de varios niveles de estructuración del trabajo. Para evitar actividades innecesarias o mal programadas y tratando de estructurar el flujo de diseño y materiales a terreno de manera de optimizar la instalación, se revisa el trabajo desde el resultado deseado hacia el inicio de su ejecución (desde el término hacia el inicio).
- **Liberar:** La principal regla de este subproceso es “liberar la actividad “A” sólo si reúne los criterios de aplicabilidad”. Los criterios se orientan a que “A” cumpla con los requerimientos de calidad y que en sistemas *pull* de producción, el siguiente proceso esté preparado para recibir a “A”.

- **Desacoplar Holguras:** Con este subproceso se busca evitar que “A” afecte a “B”. Es necesario realizarlo cuando el flujo del trabajo no se puede sincronizar. La falta de sincronización se produce cuando existen variaciones en las tasas de procesamiento o de entrega. Existen dos criterios claros donde desacoplar las holguras: 1) Puntos en que la variabilidad es esperada. Ubicar las holguras en esos puntos para aislar las fases o procesos subsiguientes de la incertidumbre de las fases o procesos previos. 2) La presencia de un cuello de botella asociado a la capacidad de los recursos.
- **Programar:** Se deben programar aquellas actividades que se PUEDEN ejecutar, aquellas actividades ya liberadas en el proceso, no las que se DEBERÍAN ejecutar. Para lograr una programación clara en torno a los conceptos de lo que se DEBE ejecutar, lo que se PUEDE ejecutar y lo que efectivamente SE HARÁ, es necesario contar con tres tipos de programas: 1) Plan maestro especificando lo que DEBE hacer a nivel de hitos detallado por fases; 2) Un proceso *Lookahead* que implementa el PUEDE mediante la liberación de las actividades; 3) Un plan semanal de trabajo que entregue los compromisos de lo que SE HARÁ.

Las herramientas tácticas para implementar estos principios de Estructuración del Trabajo son presentadas en la sección 3.4. de este capítulo.

3.3.2. Control de Producción

El control de producción consiste en el control del flujo de trabajo y de la producción unitaria. El control de flujo del trabajo se realiza mediante el proceso de *lookahead*. Este proceso genera alertas tempranas de futuras problemáticas, lo que permite tener un mayor tiempo para resolverlas. En cambio, el control de producción unitaria se implementa mediante los planes de trabajo semanales, los cuales apuntan a ejecutar sólo lo que se puede hacer. Los esfuerzos se enfocan en realizar aquellas tareas que cumplen con los criterios de calidad definidos por Ballard (1999): correcta

definición de las tareas, que el trabajo a ejecutar sea legítimo en términos que todos sus prerequisites están resueltos, que la secuencia de ejecución sea correcta y que el tamaño de las tareas del plan de trabajo sea el adecuado en términos de los recursos asignados. Además dentro del control de producción se busca identificar las causas de no cumplimiento del plan de trabajo definido, para tomar acciones sobre ellas, generándose un mejoramiento continuo en el control de producción. En el caso de LPDS, el control de producción de flujo de trabajo y de la producción unitaria, se realiza mediante el uso del Sistema del último planificador, que se detalla en la sección 3.5.3.

3.3.3. Definición del Proyecto

La definición del proyecto es la primera fase en el LPDS y consta de tres módulos (Figura 3-2):

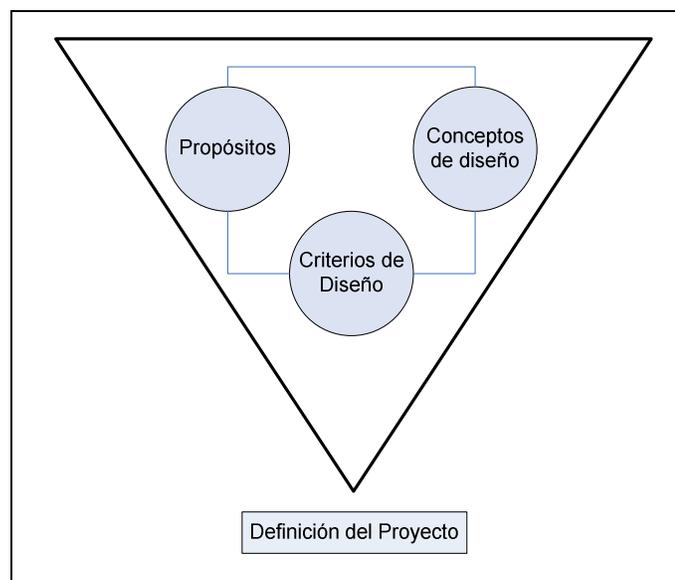


Figura 3-2: Estructura de Definición de Proyecto de LPDS
(Adaptado de [Ballard & Zabelle, 2000])

1. **Determinación de propósitos:** en este módulo se analizan y estudian las necesidades y valores de los consumidores finales, el cliente (inversionistas), así como las de todos los *stakeholders* involucrados en el proyecto.
Una necesidad es el estado de privación que siente un individuo [Kotler, 1993], que se manifiesta por medio de un deseo. Al combinar este deseo con el poder adquisitivo, se genera una demanda en la industria. Por otra parte, el valor corresponde al grado en que son satisfechas las necesidades de los clientes por medio de los productos del mercado.
2. **Criterios de diseño:** son las pautas a seguir para la generación de una idea o concepto de diseño, basadas en la experiencia y conocimiento existente en el equipo. En la construcción estos criterios pueden ser normativas, ordenanzas o reglamentos de diseño y construcción, así como la experiencia empírica de los profesionales de proyectos y *stakeholders* en general.
3. **Conceptos de diseño:** Se refiere a las primeras alternativas de diseño o diseños conceptuales que nacen a partir de la alineación de necesidades, valores y criterios de diseño.

El paso por estos tres módulos es necesariamente iterativo y no requiere de una secuencia específica de ejecución, aunque el módulo de los propósitos pareciera ser el punto lógico de comienzo. Lo relevante es que los tres módulos lleguen a ser alineados, pues sólo en ese momento se podrá comenzar con el diseño *Lean*. En el diagrama de flujo de la figura 3-3 se puede observar el proceso sugerido en LPDS para esta fase del proyecto. En éste queda explícito que lo que se busca es lograr un proceso colaborativo e iterativo entre el cliente, todos los *stakeholders*, diseñadores y constructores. La colaboración se logra por medio de conferencias de definición de proyecto, que buscan ser la instancia para lograr la alineación de los tres módulos. El objetivo de los ciclos iterativos colaborativos entre estos tres módulos es que todas las partes involucradas en el proyecto, tomen conciencia de las consecuencias de sus deseos y para generar varias opciones de diseño que agreguen valor, más allá de la primera prevista [Ballard & Zabelle, 2000].

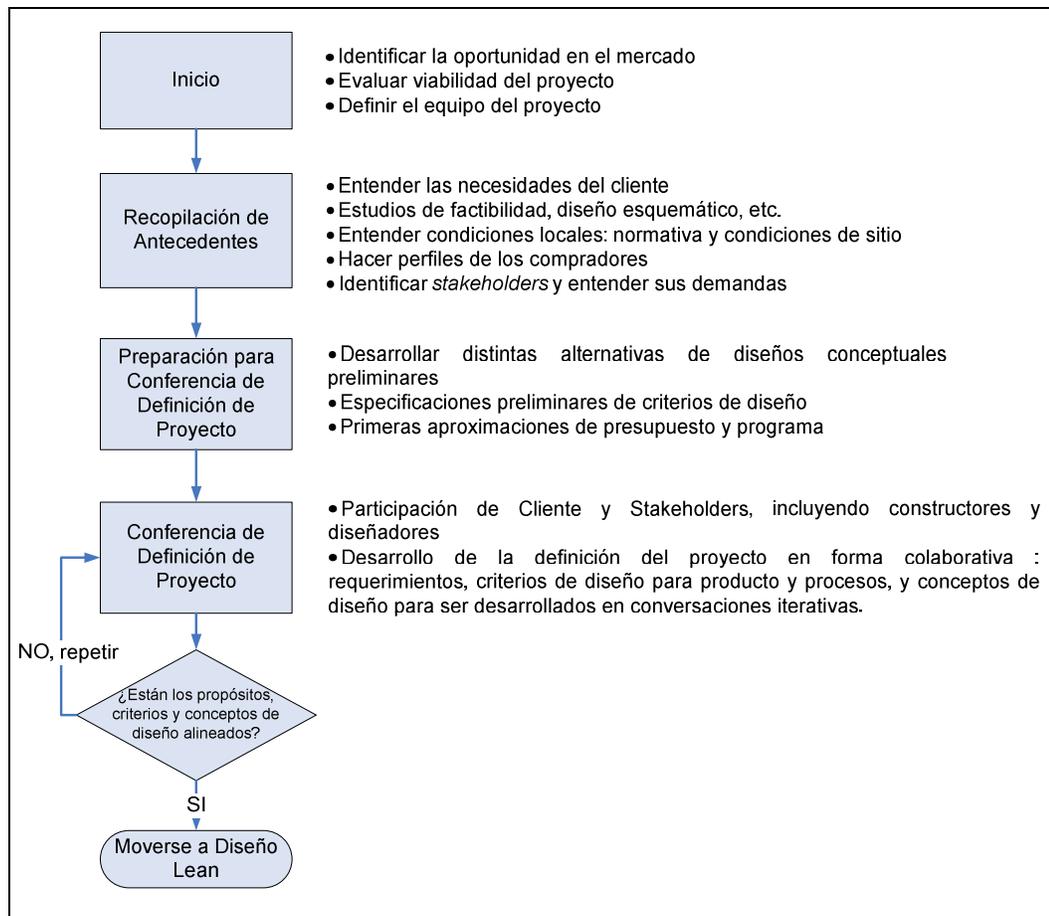


Figura 3-3: Diagrama de flujo de fase de definición de proyecto según LPDS
(Adaptado [Ballard & Zabelle, 2000])

3.3.4. Diseño *Lean*

La etapa de diseño *Lean* desarrolla el diseño conceptual, en base a los criterios y conceptos de diseño producidos en la definición del proyecto, con enfoque en el diseño de productos y procesos:

1. **Diseño del proceso:** se entiende como la secuencia de pasos y el desarrollo de los procedimientos para lograr la fabricación de un producto.

2. **Diseño de producto:** consiste en estructurar y coordinar las diferentes actividades de diseño para obtener el conjunto de especificaciones que entreguen la información de cómo será el producto.

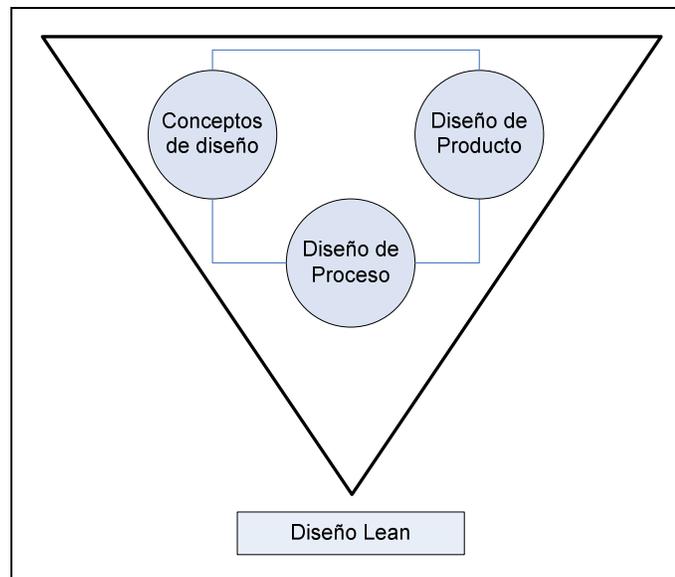


Figura 3-4: Estructura Diseño Lean de LPDS

Las decisiones asociadas al diseño de los productos y procesos son realizadas en forma simultánea, en vez de primero producir un diseño para el producto y después intentar diseñar un proceso satisfactorio para la fabricación del producto.

La etapa de diseño *Lean* transita hacia el abastecimiento *Lean* cuando el diseño de productos y procesos han sido desarrollados a partir de los conceptos de diseño, y estos a su vez, son consistentes con los criterios de diseño que representan las necesidades de los consumidores y las demandas de los *stakeholders*. La transición a la siguiente fase es aprobada por el equipo de diseño y construcción así como también por el cliente [Ballard, 2000].

Para alcanzar los objetivos *lean* en la etapa de diseño (maximizar el valor y minimizar las pérdidas) el LCI recomienda el uso de ciertas herramientas estratégicas y tácticas. En la figura 3-5 se presentan estas herramientas para el mejoramiento de la fase.

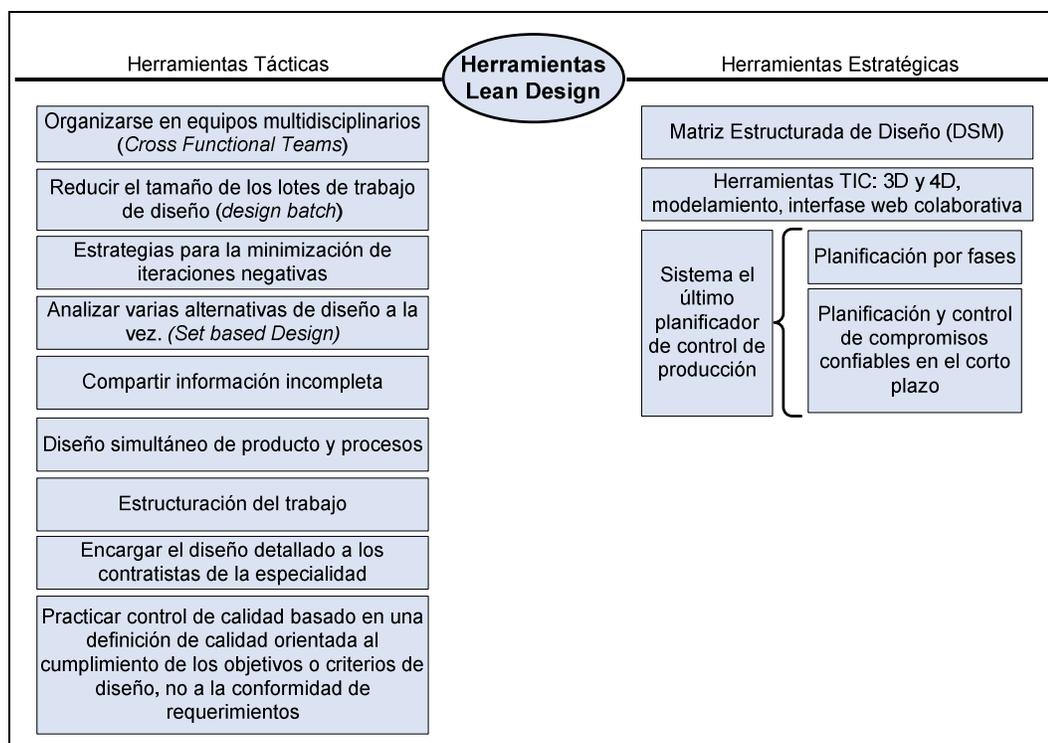


Figura 3-5: Herramientas recomendadas por LCI para Diseño Lean

3.4. Herramientas estratégicas de mejoramiento asociadas a Diseño Lean

Estas herramientas estratégicas enseñan que aspectos se deben tener presentes para lograr mayor eficiencia y mejores resultados en el proceso de Diseño. Estos aspectos trascienden a la metodología o herramientas tácticas que se estén utilizando para la implementación efectiva de *Diseño Lean*. En efecto, se debe buscar utilizar metodologías y herramientas tácticas que permitan y faciliten la aplicación de estos fundamentos estratégicos. Para un mayor detalle de estas herramientas ver Anexo B.

3.5. Herramientas de tácticas de mejoramiento asociadas a Diseño Lean

A continuación se presentará en detalle las herramientas tácticas para el Diseño *Lean* con mayor relevancia dentro de la investigación desarrollada. Para un mayor entendimiento del resto de las herramientas, ver el Anexo B.

3.5.1. Uso de Tecnologías de la Información (TI)

La tecnología de la información (TI) es un conjunto de conocimientos referidos a la producción, distribución, almacenamiento, recuperación y utilización de la información. En este sentido es importante su utilización en LPDS pues cumple un rol integrador entre las distintas fases del proyecto [Izaguirre y Alarcón, 2008] permitiendo tener una mejor gestión de la información y conocimiento del proyecto a lo largo de todo su ciclo de vida. Los tres elementos importantes para la TI son las herramientas (ej: software y hardware), las personas (facilitadores y usuarios) y los procesos de trabajo necesarios para implementar y utilizar la TI eficazmente en la gestión de proyectos. [Rischmoller y Alarcón, 2005 y Rischmoller et al, 2006].

Según Fischer y Kunz (2004) el papel y alcance principal de las TI en la construcción debería ser entregar el apoyo para predecir anticipadamente el desempeño que tendría un diseño en el ámbito de su aplicación en terreno, su programa (relacionado con el proceso a aplicar) y organización, respetando los objetivos de negocio de las principales partes involucradas en el proyecto. Para lograr hacer predicciones acertadas, es necesario que la aplicación de TI sea multidisciplinaria. Es decir, es necesario que las TI se orienten a apoyar la integración de la información y las diferentes perspectivas de las distintas alternativas de diseño para cada especialidad involucrada.

La mayor parte de las aplicaciones de TI utilizadas en el diseño de proyectos, apuntan a herramientas de visualización (CAVT), dado que facilitan la comunicación y

toma de decisiones objetiva entre las distintas partes involucradas en el proyecto. Las más conocidas son 3D y 4D.

Los modelos 3D son modelos CAD tridimensionales mediante los cuales se puede entregar una visión más clara a todos los involucrados por medio de múltiples planos y dibujos 2D. Además con su uso, es más simple obtener cortes 2D, proyecciones isométricas y perspectivas como son requeridas, además de permitir cubicaciones instantáneas. Una de las ventajas mayores de la utilización de modelos 3D es el análisis de interferencias que se pueden producir entre distintos elementos de las instalaciones, lo que permite evitar errores y problemas en el diseño que pueden significar un alto costo y retrasos en la etapa de construcción, si estos no son detectados a tiempo [Rischmoller et al, 2006].

Por otra parte, los modelos 4D (3D + tiempo) combinan modelos 3D con la planificación de las actividades de construcción. Su objetivo es simular el programa de la obra, visualizando la progresión de la construcción en el tiempo. Por medio de 4D se puede conocer qué parte del proyecto será construida y la secuencia en que se construirá. Al usar esta simulación y visualización de las secuencias constructivas de manera interactiva e iterativa, se logra mejorar en gran medida la calidad de los planes de secuencia de construcción y su programa de ejecución [Rischmoller y Alarcón, 2002]. De esta manera se logran extender los beneficios de la utilización de CAD en la etapa de diseño del proyecto a la etapa de construcción [Rischmoller et al, 2006].

Una herramienta esencial en el desarrollo simultáneo del diseño del producto y los procesos sería la utilización de este tipo de modelos, integrando el diseño del producto y el de los procesos. Es decir, bases de datos complejas, capaces de representar el producto diseñado en 3D y también capaces de modelar el proceso de fabricación, logística, montaje y operación de ese producto o sus componentes [Ballard y Zabelle, 2000b].

En la etapa de la definición del proyecto, LPDS recomienda el uso de modelos 3D en los bosquejos de las diferentes alternativas de diseño conceptual. En la etapa de Diseño *Lean*, los modelos 3D pueden ser utilizados para asegurar que el diseño de los sistemas, subsistemas y sus componentes se adhieran a las especificaciones generadas previamente. El uso de modelos 4D, se recomienda para la fase de ingeniería de detalle, pues permiten que el producto sea construido en el computador antes que sea construido en el espacio y tiempo físicos.

3.5.2. El último planificador

El último planificador es un sistema de planificación y control de compromisos, que se basa en los principios de la filosofía de la producción *Lean* y apunta a aumentar la confiabilidad de la planificación y los niveles de desempeño [Ballard, 1994].

La figura muestra como generalmente se ejecuta una planificación en el corto plazo: Existen tareas que se “deben” ejecutar, se determina lo que “se hará” pero generalmente no se chequea que lo que se hará realmente “se pueda” realizar, logrando cumplir finalmente con una pequeña porción del trabajo planificado.

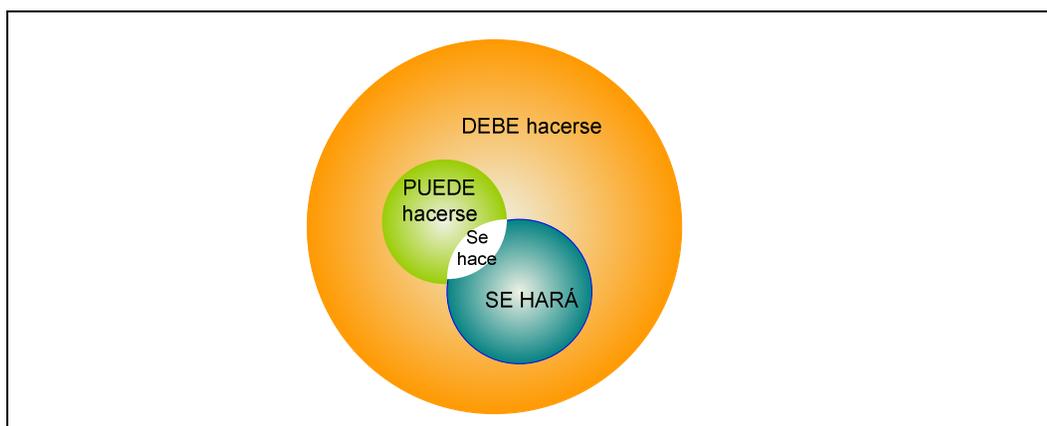


Figura 3-6: Principio de planificación general

El sistema del último planificador busca que lo que se hará finalmente se haga, realizando un análisis del “debe”, “puede” para concluir con un plan en el corto plazo de lo que se hará. Quien manifiesta lo que se puede hacer y posteriormente define las tareas a realizar (*assignments*) es la persona o grupo que efectivamente las ejecutará, siendo ellos el último planificador. Esta mecánica de planificación permite generar compromisos confiables que maximizan la cantidad de trabajo que se hará, en función a lo que se debe y efectivamente se puede hacer en un determinado tiempo y espacio [Bustamante, 2007].

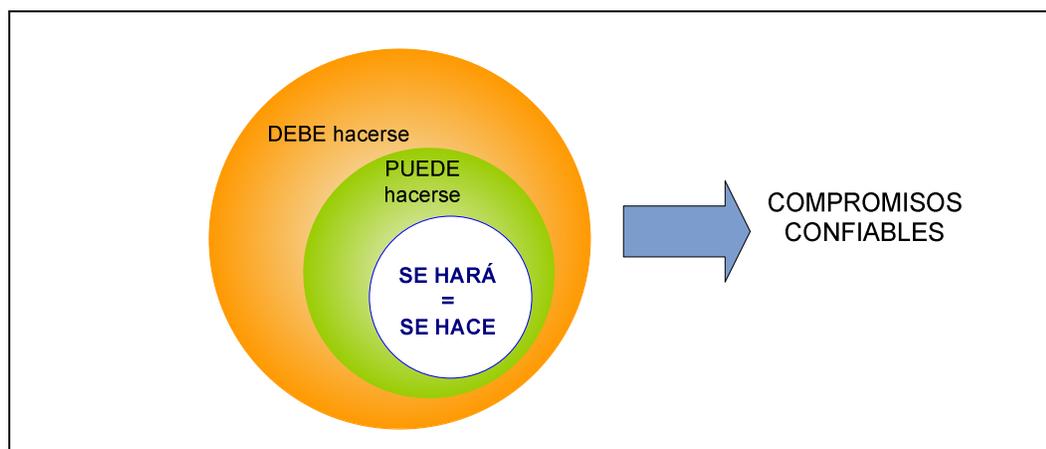


Figura 3-7: Principio del último planificador
(Adaptado de [Bustamante, 2007])

En la figura 3-8 se presentan los tres tipos de programas que interactúan en el Sistema del Último Planificador, lograr hacer lo que se puede: primeramente se genera un programa de fases (*ver Planificación en fases, sección 3.5.3*), a partir del cual nace el plan de trabajo intermedio que considera cuales son las restricciones que no permiten hacer el trabajo. Una vez liberadas las restricciones se genera el programa de ejecución o de corto plazo. Mediante este análisis de restricciones logramos pasar desde la figura 3-7 a la figura 3-9.

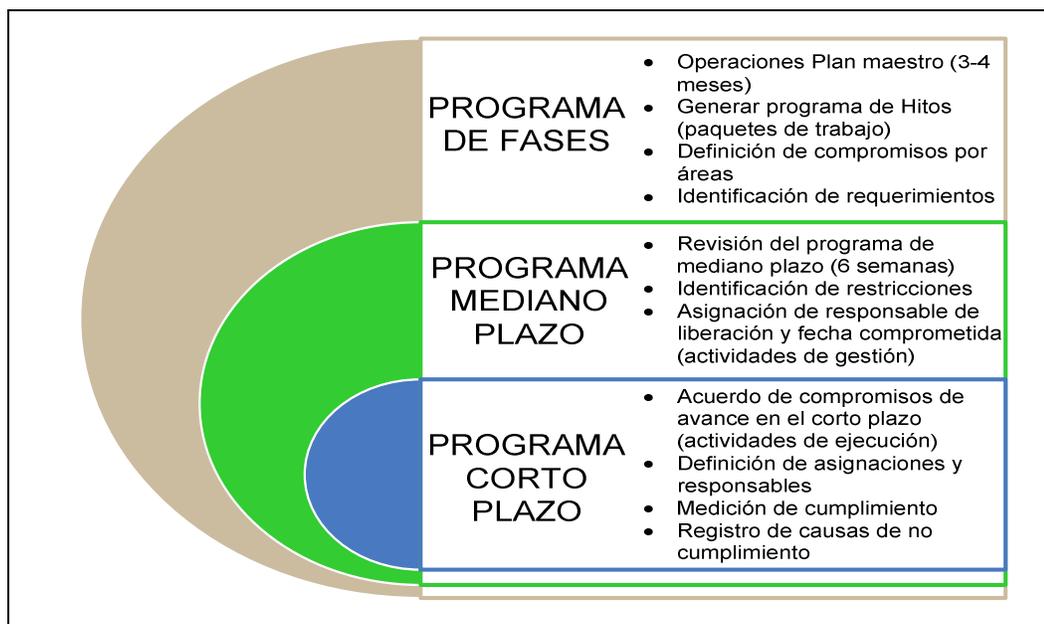


Figura 3-8: Tipos de Programas involucrados en el Sistema del Último Planificador

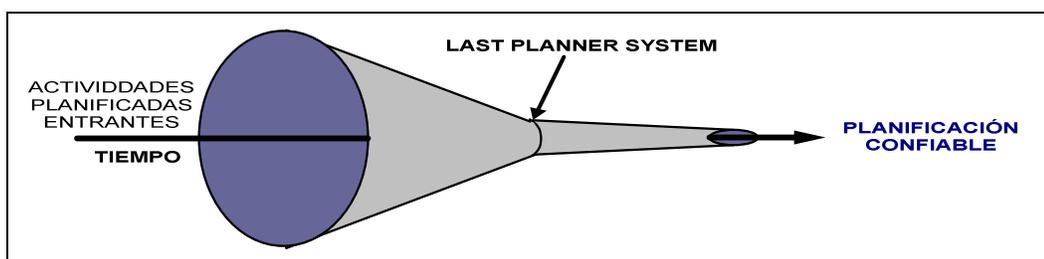


Figura 3-9: Sistema de planificación y control de proyectos El último planificador (Last Planner System, LPS)

Los principios que se encuentran detrás de este sistema de acuerdo a su creador son que [Ballard, 1994]:

1. El trabajo a realizar es seleccionado en la secuencia correcta: Esta secuencia correcta se refiere a una secuencia del trabajo consistente con los alineamientos del proyecto: logística interna, compromisos y metas.

2. La cantidad de trabajo seleccionada es la correcta: Esto debido a que se realiza un análisis de los recursos existentes y disponibles versus las tareas que se programarán.
3. El trabajo seleccionado puede ser ejecutado: esto porque el trabajo previo está realizado y tampoco existen restricciones en los recursos.

El desempeño de esta planificación se evalúa a través del Porcentaje de Actividades Completadas (PPC, Porcentaje de Plan Completado del Inglés) que es la razón expresada en porcentaje entre el número de actividades completadas y el número total de actividades planificadas para el período de evaluación (1-2 semanas). Este porcentaje permite medir el nivel de confiabilidad de las asignaciones de trabajo y la variabilidad del flujo de producción en el período [Bustamante, 2007].

Cuando una actividad planificada no logra ser cumplida, debe registrarse su causa de no cumplimiento (CNC). Al identificar las causas de los problemas y registrarlas se da el primer paso hacia un mejoramiento, el cual se hará efectivo al tomar una acción correctiva frente a la causa de no cumplimiento, lo que generará un mejor desempeño gracias a un flujo de trabajo más continuo.

3.5.3. Planificación por fases

La Planificación por fases (Phase Planning, PP) tiene como objetivo producir una programación que maximice la generación de valor y que además sea entendida y apoyada por todos los actores involucrados dentro de una fase del proyecto [Ballard, 2000a]. La maximización de valor se logra por su naturaleza de técnica *pull* y el entendimiento y consenso se obtiene gracias a que es una técnica de planificación en equipo (*team planning*).

Los sistemas *pull* autorizan el trabajo basado en el estado (*status*) de las tareas [Hopp y Spearman, 1996]. Una técnica *pull* de planificación utiliza objetivos del programa maestro en el mediano plazo y busca “jalarlos” a una ejecución sin

sobreproducción de tareas. Esto se logra al planificar desde una fecha de cumplimiento de un objetivo propuesto hacia atrás, desde el futuro hacia el presente. Esto produce que las tareas sean definidas y secuenciadas de manera de permitir el trabajo posterior. Una regla fundamental de “jalar” es solamente ejecutar aquellas tareas que permiten el posterior trabajo propio o de otros. Al respetarse esta regla se logra eliminar las pérdidas que se producen por sobreproducción [Ballard, 2000a].

A su vez, la planificación en equipo se caracteriza por involucrar a todos los representantes de las distintas partes involucradas dentro de la fase en programación. De acuerdo a Knapp et al. (2006) al combinar la planificación en equipo y la programación desde el hito hacia el inicio de la fase, se suman los siguientes efectos al resultado de una planificación sin sobreproducción:

1. El equipo identifica que tiene que hacer una vez que una tarea haya sido terminada.
2. Los objetivos de cada cual han sido explicados al resto, así mismo como la duración de cada una de las actividades que estos implican.
3. Se ha logrado definir las actividades que son necesarias hacer por cada cual, para el cumplimiento de los objetivos.

Esto se logra mediante una sesión de planificación con todo el equipo dentro de una habitación, donde cada cual escribe sobre trozos de papel las tareas que les competen para si mismos y las tareas que les competen que permitirán el trabajo del resto de los integrantes del equipo. Una vez identificadas las actividades, cada uno procede a pegar sobre la pared los trozos de papel en la secuencia de ejecución que cada uno espera. Al encontrarse con discordancia entre las apreciaciones de cada cual se producen discusiones entre las distintas áreas. Esto permite apreciar claramente como las secuencias planeadas individualmente, generalmente no responden a las necesidades del resto del equipo. En este punto es cuando poco a poco, mediante la discusión

colaborativa entre los participantes de la sesión se va ordenando la secuencia según el parecer de todos.

Lograda esta secuencia concensuada se procede a dar duraciones a cada una de las actividades. Al ir otorgando tiempos a cada actividad se debe hacer sin considerar ningún tipo de *Buffers* u holguras. Se desea lograr un programa “ideal”, acortando el tiempo de ejecución. El principio detrás de esta medida es que cada persona al ser consultada por el tiempo que una tarea le tomará, tiene un conocimiento de cual es su duración más probable de cumplimiento, pero como medida de seguridad le otorga mayor duración a la tarea, para tener mayor certeza de cumplimiento frente a un escenario más adverso. El problema que se suscita con esto es que al sumar las holguras que cada uno le va asignando la duración del proyecto es muchas veces considerablemente mayor (Figura 3-1 (a) y (b)). Entonces, al programar bajo la duración “ideal” e incluso la más probable, se está ganando esta holgura para reducir los plazos de ejecución y/o redistribuir la holgura total del proyecto de las siguientes maneras (Figura 3-1 (c)) [Ballard, 2000]:

1. Asignar la holgura al final de aquellas tareas que presentan potencialmente la mayor incertidumbre y variabilidad en sus duraciones.
2. Retrasar el inicio de la fase para poder invertir mayor tiempo en actividades previas pendientes o permitir que la última información sobre el proyecto emerja, para una mejor toma de decisiones.
3. Acelerar la fecha de término de la fase o usar el exceso de holgura a nivel de proyecto (no a nivel de actividades individuales) para aumentar la probabilidad de cumplir a tiempo con el plazo comprometido.

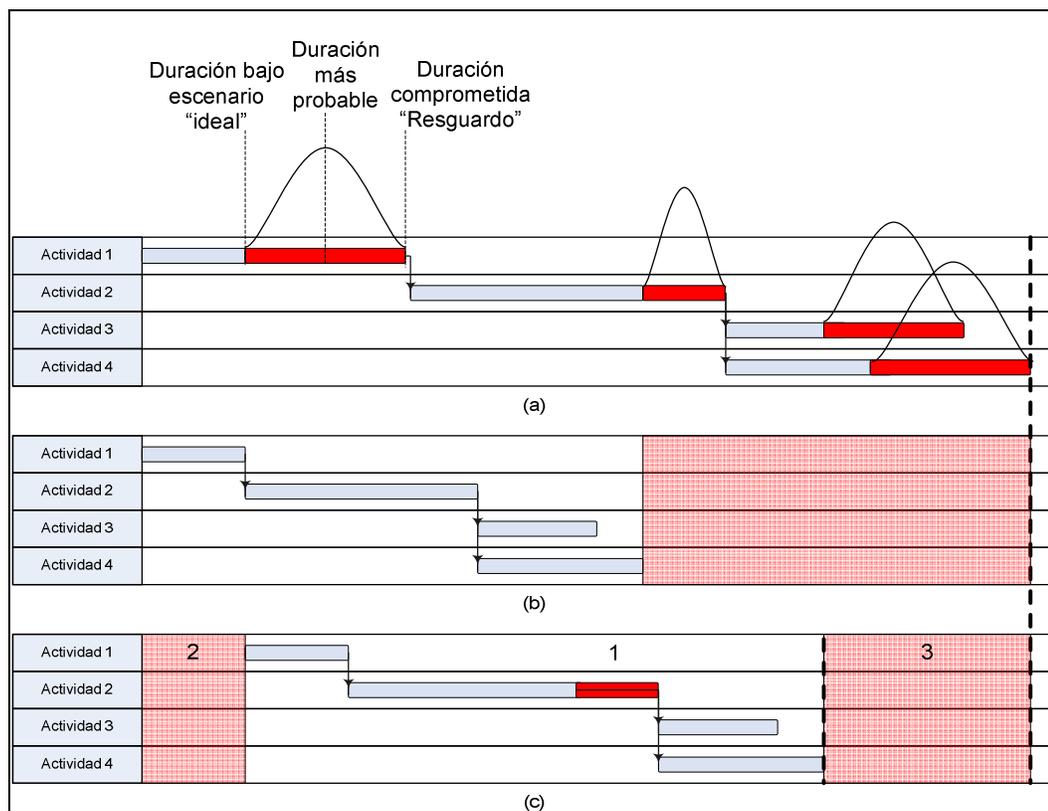


Figura 3-10: Diagrama explicativo de asignación de *buffers* en la planificación por fases

Lo anteriormente mencionado generará una discusión permanente dentro del equipo de trabajo, reestructurándose la secuencia repetidas veces, de acuerdo a los plazos que se asignaron a cada una de las tareas y la utilización que se le da a la holgura del proyecto. Finalmente habiendo llegado a un consenso del programa de mediano plazo, cada integrante hace un contrato, asumiendo las tareas y plazos ahí discutidos como un compromiso formal.

En resumen, una sesión de fases debe seguir los siguientes pasos para su ejecución y éxito [Adaptación Ballard, 2000a]:

1. Organizar y motivar al equipo.

2. Hacer una lluvia de ideas con el trabajo que se debe realizar en la fase utilizando un trozo de papel por cada actividad.
3. Determinar la fecha de término de la fase.
4. Usando los trozos de papel en el muro se desarrolla la red de actividades necesarias para completar la fase, programando de adelante para atrás desde la fecha de término.
5. Determinar las duraciones de cada actividad sin ningún tipo de holgura.
6. Reexaminar la lógica de la planificación tratando de acortar la duración. Se recomienda utilizar una Lluvia de ideas como medio de apoyo.
7. Determinar la fecha en que se debería comenzar la fase.
8. Si hay tiempo sobrante después de comparar el tiempo entre el comienzo y el término, con las actividades definidas en el muro, decidir a qué actividades asignarle holgura o a cuáles asignarle una duración mayor.
 - a. ¿Qué duraciones de actividades son más susceptibles a no ser cumplidas?
 - b. Hacer un ranking de las actividades más susceptibles por el nivel de incertidumbre en su duración.
 - c. Asignar holgura de acuerdo al ranking obtenido.
9. ¿Está el equipo conforme con que los *buffers* asignados? ¿son suficientes para completar las actividades dentro del hito? Si la respuesta a estas preguntas es negativa se deben replanear las actividades o mover el hito de término dentro de lo posible.
10. Si existe tiempo sobrante disponible, decidir entre acelerar la programación o usar este tiempo para aumentar la probabilidad de cumplir a tiempo.
11. Resumir el trabajo realizado y los acuerdos alcanzados por el equipo en un documento oficial.
12. Controlar y evaluar el desarrollo de la fase.

Las ventajas observadas con esta herramienta de planificación son las siguientes [Knapp et al. 2006]:

- El equipo del proyecto obtiene un mejor entendimiento de que agrega valor al proyecto y qué no lo hace.
- Los miembros del equipo de trabajo tienen la oportunidad de conocerse y sentirse cómodos entre sí, a medida que van logrando acuerdos y planifican el trabajo.
- El trabajo es planificado de tal forma que todos entienden y aprueban lo que hay que hacer, cuándo hay que hacerlo y cuánto tiempo se tiene para realizarlo. El equipo conoce como prepararse para poder cumplir las promesas adquiridas que los llevarán a hacer el trabajo acordado en el programa intermedio concensuado.
- Una secuencia lógica de trabajo es planificada y las duraciones de las actividades son razonables.
- Las cartas Gantt generadas a partir de este programa intermedio concensuado son viables de cumplir y respetar.

A todas las ventajas anteriores se suma que la planificación por fases es una excelente herramienta para la gestión de compromisos. Además de identificarse el trabajo propio, la planificación por fases permite identificar y discutir el trabajo que tiene relación con varias áreas de un equipo y cómo este es traspasado de un área hacia otra (*hand-offs*). Esto permite que el equipo entienda el impacto de este trabajo y negocie la mejor manera de enfrentarlo. En la mayoría de los casos en que se ha aplicado la planificación por fases, este tipo de discusiones tienen como resultado un mejoramiento o cambio en la forma de hacer el trabajo, lo que implica un mejor desempeño del proyecto. Por otra parte, esta discusión de *hand-offs* y su aceptación por parte de cada uno de los miembros del equipo, establece las bases para el compromiso entre las distintas partes involucradas en la tarea. El equipo diseña la red de compromisos, los requisitos y las promesas, necesarios para completar su trabajo, a

medida que va añadiendo y discutiendo cada una de las tareas (propias y comunes) en el muro. Este mecanismo de planificación es bastante distante a lo que usualmente se utiliza, donde un programa (típicamente una carta gantt) es entregado al equipo y se le solicita ajustarse y comprometerse con ella. [Knapp et al., 2006]

Además, al lograr compromisos oficiales y documentados, la gestión y coordinación del proyecto se basa en lograr que cada uno vaya cumpliendo sus compromisos en la fecha establecida por ellos mismos. Esta tarea se puede hacer de manera simple, siguiendo todos los conceptos involucrados en la herramienta *Lean* “El último planificador” (*Last Planner System*, LPS), estudiados en la sección 3.4, que involucra la planificación por fases como uno de sus principales componentes.

3.6. Resumen

El propósito de este capítulo era describir los distintos principios, aspectos y herramientas asociadas al modelo de *Lean Project Delivery System* (LPDS). Este es un nuevo modelo planteado por el *Lean Construction Institute* (LCI), que tiene como objetivo mejorar el proceso de cómo se diseña y construye.

De acuerdo a los alcances de esta investigación, se estudiaron cuatro componentes de este modelo: los módulos de estructuración del trabajo y control de producción, así como las fases de concepción del proyecto y diseño *Lean*. El propósito de la estructuración del trabajo es hacer que el flujo de trabajo sea más confiable y rápido y que a su vez, se entregue valor al cliente. Por otra parte, el control de producción consiste en el control del flujo de trabajo y de la producción unitaria. La definición del proyecto es la primera fase en el LPDS y consta de tres módulos: Determinación de propósitos, establecimiento de los criterios de diseño y definición de los conceptos de diseño. Finalmente, la etapa de diseño *Lean* desarrolla el diseño conceptual, en base a los criterios y conceptos de diseño producidos en la definición del proyecto, con enfoque en el diseño de productos y procesos.

Además dentro de este capítulo se evaluaron las herramientas que deben ser aplicadas para implementar el enfoque *Lean* de LPDS, especialmente en la etapa de diseño. Las herramientas estratégicas, por un lado, enseñan que aspectos se deben tener presentes para lograr mayor eficiencia y mejores resultados en el proceso de Diseño. Por otra parte, se abordaron las herramientas tácticas para el Diseño *Lean* con mayor relevancia dentro de la investigación desarrollada: uso de tecnologías de la información, el sistema del último planificador, con especial énfasis en su etapa de la planificación por fases.

4. METODOLOGÍA EXTREME COLLABORATION

4.1. Introducción

En este capítulo se describe la metodología de trabajo conocida como *Extreme Collaboration*. Primeramente se presentan antecedentes generales de la experiencia de la aplicación de este modelo en el equipo-X de la NASA. Posteriormente se revisa la estructura general de este modelo y las redes de comunicación involucradas en la metodología de trabajo. Finalmente se analizan las ventajas, limitaciones y factores de éxito de la metodología de trabajo.

4.2. La metodología de la NASA

En 1995 nace en la NASA este modelo de organización conocido como *Extreme Collaboration* (XC). Este modelo consiste en hacer trabajar a distintos actores involucrados en el proyecto en un mismo ambiente con el uso intensivo de tecnologías de la información. El objetivo es acelerar el proceso de diseño en las primeras etapas del proyecto y optimizar su calidad. Para lograr este objetivo se consideraron dos factores relevantes: contar con un equipo estable de ingenieros expertos de diferentes áreas o departamentos (telecomunicaciones, estructuras, energía, entre otras) y un fuerte uso de software computacional de tecnología de punta.

La forma en que este reconocido centro implementó esta metodología fue por medio de la formación de un equipo de diseño de proyectos avanzado denominado *Team-X*. El equipo se encuentra formado por 16 ingenieros con alta experticia, donde cada uno representa un área, un líder de grupo que cumple una función de modelador. Este equipo sesiona de una a tres veces a la semana por proyecto o misión, con una duración de 3 horas por sesión.

El lugar físico busca que los ingenieros trabajen en conjunto en un mismo lugar. Además en él se debe contar con los softwares necesarios para la ejecución del diseño, proyectores y bases de datos de proyectos anteriores.

Algunos de los resultados que ha obtenido este equipo es reducir los tiempos de estudio de propuesta de variados proyectos, con tiempos iniciales de 3-9 meses a sólo pocos días [Chachere et al., 2003]. Por otra parte modelos realizados bajo esta metodología han predicho el costo final de toda una misión espacial con una exactitud entre el 5%-10% [Mark, 2001].

4.3. Estructura de la Metodología generalizada

La metodología entonces se compone por tres elementos centrales:

- Sesiones de *Extreme Collaboration*
- Lugar Físico
- Equipo de trabajo

Por medio de estos tres elementos se logra una comunicación continua, tanto con el cliente interno como el externo, con la cual se pueden enfrentar mejor y resolver más fácilmente los problemas que se pueden presentar en el desarrollo del diseño y discutir en forma más eficiente las alternativas existentes. En la figura 4-1 se presenta un diagrama que detalla cada uno de estos tres elementos.

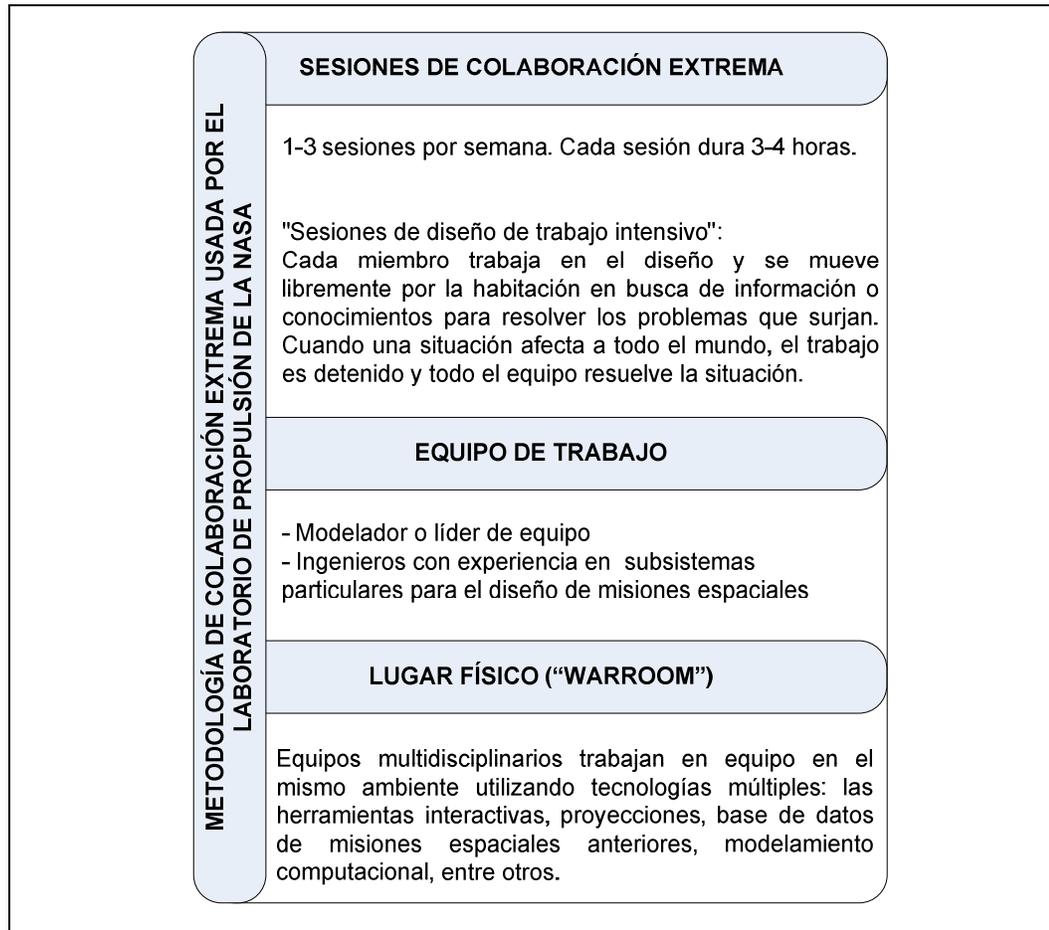


Figura 4-1: Tres elementos centrales de XC y sus componentes

El trabajo en equipo que se desarrolla con esta forma de trabajo permite:

- Generar un trabajo más dinámico.
- Se puede tener acceso a la información inmediata, ya sea por medio de otros expertos o la red electrónica que contiene las distintas bases de datos.
- Cualquier situación o elemento que cause cuestionamiento en algún miembro del equipo es tratado en el momento mismo con los actores que esto involucre.

- Los errores pueden ser detectados en una etapa temprana, cuando hacer cambios en lo ya realizado no presenta mayores dificultades.
- La comunicación continua facilita la resolución de problemas y el planteamiento de distintas alternativas para encontrar la solución más eficiente de acuerdo a los requerimientos del cliente.
- El diseño se va haciendo y midiendo en términos de calidad, programación y costos a medida que se va discutiendo.

Si bien el trabajo de la metodología se centra en las sesiones de trabajo existe una etapa previa y una posterior a éstas:



Figura 4-2: Diagrama de etapas de involucradas en la metodología

De acuerdo a la metodología aplicada por el *Team-X* de la Nasa, la etapa de recopilación de antecedentes tiene lugar una semana antes de la ronda de sesiones de diseño, por lo cual ha sido denominada “semana pre-sesión”. Durante esa semana, un equipo de ingenieros recopila los requerimientos y diseños de la misión o proyecto con un representante del cliente. Los resultados de esta etapa se suman como insumos para el período de “sesiones de trabajo extremas” (sesiones XC), lográndose tener una mejor información de entrada para el proceso. Posterior al período de trabajo colaborativo e

intensivo, tienen lugar dos semanas en las cuales el equipo completa su documentación en una forma más tradicional de trabajo.

4.4. Redes de comunicación

Existen dos redes de comunicación usadas en esta metodología: red humana y red electrónica. Estas dos redes se encuentran entrelazadas y son las que producen los flujos de información durante la sesión XC.

La red humana está conformada por el equipo de trabajo de cada sesión. La ventaja que presenta es que los expertos están donde son necesitados en el momento preciso, dinamizando el flujo de información. La presencia de expertos de cada área genera un movimiento constante dentro de la sala, que va generando las interacciones e iteraciones entre las diferentes especialidades. Estas interacciones se pueden dar como conversaciones de carácter particular entre un grupo más reducido de participantes (conversaciones *sidebar*), o interacciones generales públicas cuando son situaciones más complejas que atañen al grupo completo.

La red electrónica se encuentra compuesta por un sistema de publicación-suscripción. En esta red se encuentran bases de datos en formas de planillas de proyectos anteriores y todo aquello que se vaya generando en forma electrónica durante la sesión. Cada vez que se hace una modificación en alguno de estos factores, se publica para todo el equipo la información actualizada. Por otra parte, para no tener problemas de que la información sea usada mientras se está actualizando, existe un sistema de suscripción a la información que se requiera. Una vez actualizada la información se le da acceso al siguiente usuario. De esta manera, todo el mundo hace los cálculos y estimaciones necesarias en base a la misma información actualizada.

Dentro del equipo de trabajo, quien coordina la red humana y electrónica es el líder del equipo. Es él quien debe velar que la información esté actualizada y que todos

estén en conocimiento de cuando ha ocurrido un cambio que les atañe. Para esto, el líder posee un mapa mental de las interdependencias de cada uno de los miembros, de modo que pueda identificar a quien puede afectar la información que se ha cambiado. De esta forma, este miembro del equipo ayuda a mantener la línea y orientación del trabajo.

4.5. Ventajas de la metodología

La primera ventaja que se ha observado en la utilización de este modelo, es que reduce el tiempo de actividades en varios órdenes de magnitud (meses a días), ayudando a evitar imprevistos durante el proyecto. Esta reducción del tiempo se debe principalmente a la reducción de tiempos en respuestas a los requerimientos entre las distintas áreas, al encontrarse en un mismo espacio de trabajo común.

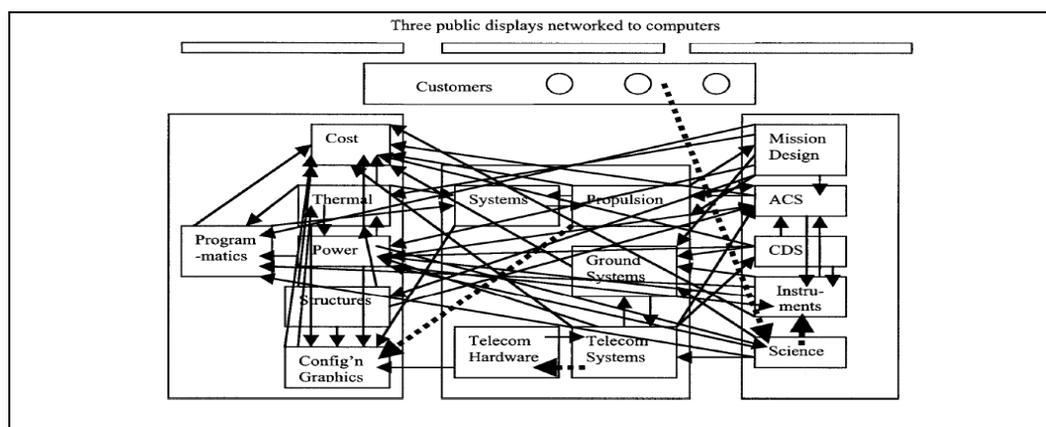


Figura 4-3: Mapa de interacciones en la sala de trabajo entre distintas especialidades [Bellamine, Saoud, 2002]

Además optimiza los costos de diseño manteniendo o incluso mejorando los estándares de calidad. También se logra una mayor interacción y coordinación entre los distintos participantes del proyecto: proyectistas, ingenieros, profesionales de terreno, involucrando en el proceso además directamente al cliente y agentes de la industria.

De acuerdo a estas ventajas, se presenta este modelo como una opción interesante a implementar para el mejoramiento de los procesos de la etapa de diseño. Falta establecer el cómo hacerlo y medir los resultados de potencial mejoramiento en el proceso de diseño, objetivos centrales que tendrá esta investigación.

4.6. Limitaciones

Si bien existen limitaciones, estas apuntan principalmente a la cultura organizacional e individual de los actores asociados a los proyectos en la etapa de diseño. Se requiere que estos sean flexibles, que no tengan complicaciones con el trabajo intensivo en equipo y desempeñarse bajo presión en un ambiente ruidoso y en constante movimiento. Además es necesario que las actividades se desarrollen en forma paralela, que se generen relaciones dinámicas y que exista real interdependencia entre las áreas que se encuentren representadas, de lo contrario, se tiene el riesgo que hayan participantes desocupados lo que puede ocasionar distracción en el resto del equipo, lo que finalmente puede detonar en que no se logre el objetivo esperado de la sesión.

Considerando las limitaciones, es relevante determinar cómo implementar esta metodología en equipos sin experiencia en trabajo colaborativo. Conocer el cómo implementarlo en un escenario diferente al de la NASA, es relevante para poder realmente alcanzar el éxito, porque suponiendo que existe una red electrónica completamente óptima, esta metodología podría no ser implementada con los resultados esperados si la red humana no logra engranarse.

Por otra parte, se presenta una nueva limitación del modelo al considerar la realidad de la industria de la construcción chilena y latinoamericana en general en términos del uso intensivo de tecnologías de la información. Según Mourgues y Fischer [2001] aún queda bastante camino que avanzar en cuanto a los cambios culturales y organizacionales necesarios para realizar una implementación efectiva de estas

tecnologías. Estos autores sugieren que para poder zanjar estas limitantes en uso de tecnologías de la información y trabajo colaborativo es necesario que:

- Exista compromiso de los niveles superiores de las empresas
- Se incorpore a las empresas constructoras desde las etapas tempranas de un proyecto.
- Exista una intención real de trabajar integradamente entre arquitectos, ingenieros y constructores.
- Exista una comprensión del real alcance e importancia de estas tecnologías, no sólo a nivel superior sino que también a un nivel más operativo, de modo de asegurar la continuidad de su uso.

4.7. Factores para el éxito de XC

El éxito y efectividad de una sesión de XC se mide bajo el concepto de la latencia de coordinación (*coordination latency*). Este concepto es la cantidad de tiempo que transcurre entre el requerimiento de información o acción y cuando se alcanza la satisfacción de ese requerimiento [Chachere et al., 2003]. Para que una sesión se utilice en forma eficiente y sea efectiva en sus resultados, se requiere que la coordinación de latencia sea mínima. Para esto, se han definido 11 factores que facilitan el flujo de información y trabajo durante las sesiones XC que hacen que se cumpla la condición deseada para la coordinación de latencia.

Factor 1: Independencia estructural

Se requiere que el equipo tenga poder de decisión. Además que esté bien definido en número para no tener recursos sobrantes ni cuellos de botella.

Factor 2: Secuencia en las tareas

Se requiere que las tareas vayan en paralelo para no llegar a estar esperando por el trabajo de otro y tener tareas “congeladas”.

Factor 3: Enfoque del equipo de diseño

En las sesiones de diseño se requiere que los participantes estén enfocados exclusivamente en ese trabajo. De esta forma se espera evitar esperas por trabajadores que también tienen que atender necesidades de otros proyectos.

Factor 4: Riqueza y fidelidad en la comunicación media

Las formas de comunicación deben ser compartidas y personales, en forma visual, multidisciplinaria, que muestre los requerimientos funcionales, las opciones de diseño y los comportamientos predichos.

Factor 5: Red de información

Todo el conocimiento necesario para las tareas, los procedimientos, las opciones y autoridad están inmediatamente disponibles. Esto es para evitar retrasos en la interpretación de diseños o en la toma de decisiones. Para esto se requiere elegir cuidadosamente al líder y participantes, que exista colaboración entre todos los expertos durante la sesión y la ubicación de los mismos durante la sesión.

Factor 6: Jerarquía organizacional

No debe haber barreras organizacionales o jefaturas. Esto para evitar el retraso en la espera de toma de decisiones por la sobrecarga en una persona, o los retrasos por los diferentes escalones jerárquicos. Para esto se requiere de un facilitador, no administradores. Las responsabilidades administrativas deben estar distribuidas.

Factor 7: Psicología y cultura

Actores deben mantener respeto de sus co-actores en un ambiente de alta presión.

Factor 8: Congruencia de metas

Los participantes aspiran sólo al éxito del proyecto. Esto entra en un modo de falla, cuando existen debates en proceso y cuando la decisión está cambiando constantemente, lo que lleva a trabajo rehecho. La solución planteada a esta situación, es que el facilitador debe estar permanentemente atento, proyectando en forma permanente la manera de cuantificar las metas establecidas.

Factor 9: Entendimiento de los procesos

Los procesos y requerimientos son bien entendidos y aceptados. Esto falla cuando hay debates extensos sobre procesos y prioridades.

Factor 10: Topología de comunicación Interpersonal

Los actores resuelven rápidamente los problemas en grupos de 2 o más. El modo de falla se presenta cuando no existe capacidad de explicar correctamente la idea de diseño. Esto conlleva a la confusión y el retraso. Para evitar esto, se recomienda el uso de las pantallas de proyección y generar conversación.

Factor 11: Modelos conceptuales integrados

Los modelamientos de las distintas disciplinas comparten datos en común, pero no los datos específicos del área. Datos no refinables y niveles excesivos de detalle causan confusión o un esfuerzo muy grande de gestión.

4.8. Resumen

En este capítulo se ha descrito el modelo organizacional conocido como *Extreme Collaboration*. Se presentaron primeramente antecedentes generales de la experiencia de la aplicación de este modelo en el *X-Team* de la NASA. Además se revisó la estructura general de este modelo y las redes de comunicación involucradas en la metodología de trabajo. Finalmente se analizan las ventajas, limitaciones y factores de éxito de la metodología de trabajo.

Extreme Collaboration se basa en el trabajo colaborativo de un equipo de expertos, sumado a agentes de la Industria y el cliente, en un mismo ambiente de trabajo, el cual cuenta con una fuerte infraestructura en redes de tecnológicas de información y comunicación.

Las principales ventajas de esta forma de trabajo es que es posible reducir en varios órdenes de magnitud los tiempos de respuestas a los requerimientos entre las distintas áreas. Además se genera una mayor interacción y coordinación de los distintos participantes del proyecto, pudiéndose optimizar los diseños en términos de costos y calidad.

Las limitaciones que presenta esta forma de trabajo, se encuentran asociadas principalmente al factor humano, en términos de cultura organizacional e individual de los actores asociados a los proyectos en la etapa de diseño. Además es necesario que las actividades se desarrollen en forma paralela, que se generen relaciones dinámicas y que exista real interdependencia entre las áreas que se encuentren representadas.

En investigaciones anteriores [Chachere et al., 2003] se han declarado 11 factores que son relevantes para alcanzar el éxito de la sesión: independencia estructural, secuencia en las tareas, enfoque del equipo de diseño, riqueza y fidelidad en la comunicación media, red de información, jerarquía organizacional, sicología y cultura, congruencia de metas, entendimiento de los procesos, topología de comunicación interpersonal, modelos conceptuales integrados.

Con lo anterior se espera contar con la base teórica para adaptar la metodología para un equipo de diseño sin experiencia en trabajo colaborativo y esclarecer las guías necesarias para cumplir con los factores de éxito, zanjar las limitaciones y obtener mayor provecho de las ventajas de la metodología de trabajo.

5. ESTUDIO DE APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE EXTREME COLLABORATION

5.1. Introducción

En este capítulo primeramente se presentará la metodología de XC a implementar en un caso de estudio. A su vez se mostrarán las lecciones aprendidas de las primeras aplicaciones de la primera aproximación de XC para la Industria de AEC². En base a estas lecciones se realizará una iteración en el diseño de la metodología buscando, superar las limitaciones y llegar a una metodología que cumpla con los preceptos de la filosofía *Lean*. La versión definitiva de la metodología de XC para AEC se explicará en cabalidad en el Capítulo 6 de esta tesis.

5.2. XC para AEC

En una primera aproximación a la implementación de XC, se postula llevarla acabo de la manera más fiel a la metodología utilizada por la NASA. Esto con el objetivo de identificar más claramente las diferencias que se generen en la dinámica de un equipo de diseño sin experiencia previa versus el *Team-X* de la NASA. Una vez en conocimiento de estas diferencias e identificando las principales barreras de implementación se presentan las modificaciones necesarias en la metodología, de acuerdo a los resultados observados.

En la figura 5-1 se presenta en detalle la metodología de XC para AEC. Esta aproximación se implementó en el caso de estudio que se trata en profundidad en el resto de las secciones de este capítulo.

² AEC: Abreviación del Inglés para *Architecture-Engineering-Construction* (Arquitectura-Ingeniería-Construcción).

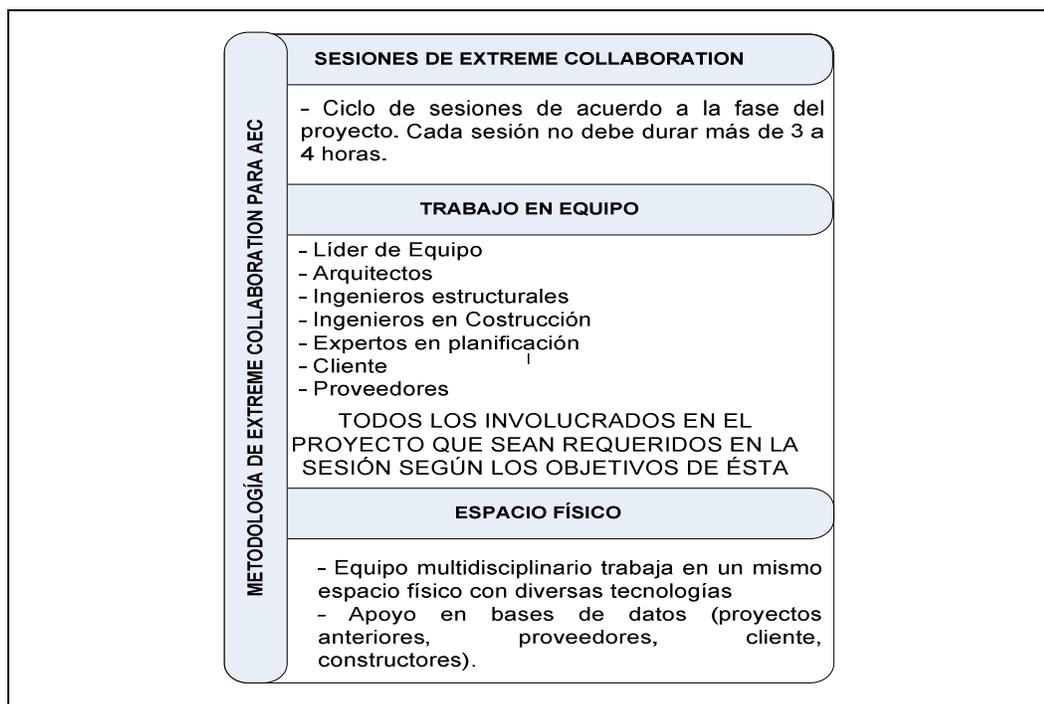


Figura 5-1: Primera aproximación de XC para AEC

5.3. Antecedentes Generales Caso Estudio

El caso de estudio es un proyecto de investigación desarrollado tanto por docentes (equipo permanente de trabajo) y empresarios de empresas proveedoras interesados en el producto de investigación. El objetivo de la investigación es desarrollar soluciones constructivas industrializables para viviendas, usando pino radiata, ya sea como material principal, o como parte de otros sistemas constructivos (albañilería u hormigón). Junto con el diseño, este proyecto contempla validación experimental y estudio de las soluciones constructivas por medio de prototipos de viviendas. En total, el equipo de trabajo considerado en este caso de estudio está compuesto por más de 20 profesionales AEC. Todos los profesionales tienen disponibilidad parcial y disímil en términos del nivel de trabajo comprometido al proyecto.

Por la naturaleza de este proyecto, era necesario generar un análisis integrado de diversas variables de diseño: costos, comportamiento estructural y físico-ambiental, calidad, constructabilidad, así como también la optimización de la producción industrial y la evaluación del nivel de innovación. Con el objetivo de facilitar este análisis integrado de variables, el equipo consideró necesaria la implementación de una nueva metodología de trabajo que corrigiera las falencias ocurridas durante la ejecución de un proyecto anterior, con similares características técnicas, así como también, los participantes involucrados. En caso del proyecto anterior al caso de estudio, los diseños y prototipos a cargo de cada grupo de especialistas, nunca fueron evaluados en forma integrada. Esto se produjo, pues en las pocas instancias de reunión disponibles, no se conseguía un adecuado avance en las definiciones conjuntas y acuerdos necesarios, debido a la falta de una orientación clara a la obtención de resultados y al cumplimiento de objetivos. XC fue planteada como una posible solución a esta necesidad, dando paso a su implementación en el proyecto.

5.4. Experiencia y desarrollo sesiones XC

En el caso de estudio se implementaron cinco sesiones XC a lo largo de la aplicación de MIGD. Las dos primeras sesiones XC realizadas tenían como objetivo principal lograr la primera propuesta de productos de entepiso, techumbre y muro del proyecto en cuestión, para que ésta fuera expuesta a los distintos expertos durante unas misiones tecnológicas realizadas a Canadá y Nueva Zelanda. Las sesiones XC 3 y 4 se orientaban a obtener las soluciones definitivas a ser ensayadas y evaluadas a lo largo del resto del proyecto, además del plan de ensayos normados a realizar en cada una de ellas. Con respecto a la sesión XC 5 esta tenía como objetivo generar las especificaciones de diseño para las casas prototipos en que se evaluarían, experimentalmente y en su conjunto, las soluciones constructivas elegidas previamente en las sesiones XC 3 y 4.

Hay que destacar que fuera de los alcances de esta investigación se realizó una sexta sesión XC de emergencia a partir del Terremoto acontecido en el país el 27 de

Febrero del 2010. Esta sesión tenía por objetivo desarrollar el diseño de una vivienda de emergencia definitiva en base a las soluciones constructivas evaluadas previamente en el proyecto, además de establecer su proceso de construcción y coordinación de éste. Los resultados fueron destacables, permitiendo alcanzar los objetivos propuestos en una sesión de cuatro horas, por medio de la colaboración activa de veinte participantes entre los que se incluían arquitectos, ingenieros, proveedores, representantes de inmobiliarias y empresas constructoras.

En el Anexo C se presentan los resultados de cada una de las sesiones XC implementadas en el caso de Estudio de esta investigación.

5.5. Evaluaciones sesiones XC

Tras las dos primeras sesiones XC, se entrevistaron y encuestaron a 12 de los participantes de esas sesiones.

La encuesta y entrevista está basada en 7 aspectos que fueron calificados en seis niveles de satisfacción. Conjuntamente, en cada pregunta se utilizó el tipo de evaluación Plus & Delta³, en la que se rescataron los aspectos positivos y relevantes (Plus) por una parte, y aquellos aspectos que eran necesarios mejorar en el futuro (Delta). Los aspectos evaluados fueron los siguientes:

1. Alcance de los Objetivos de la sesión: En términos de definición y claridad de los objetivos, además de si estos son realistas o no.
2. Nivel de satisfacción de los resultados obtenidos: En relación a los resultados que se pueden alcanzar por medio de una forma tradicional de trabajo. Se solicitó que evaluaran cuál era su sensación personal al final de cada una de las sesiones.

³ Plus / Delta es una estrategia sencilla que permite que todos evalúen los *plus*, lo que salió bien y los *deltas*, lo que le gustaría que se cambiara. El Plus/Delta es una gran herramienta para la obtención de retroalimentación.

3. Valor del Intercambio con otras áreas: En términos de cuánto les aportó el hecho de estar trabajando en el mismo espacio que las otras áreas involucradas en el proyecto.
4. Tiempos de respuesta de requerimientos: En relación a una forma tradicional de trabajo.
5. Red humana y Red electrónica: Evaluar cada una de estas dos redes como mecanismos de intercambio de información.
6. Nivel de utilización de modelos computacionales de evaluación: Este punto está enfocado solamente a la sesión XC 2. Su objetivo es verificar el uso y el aporte de éstos como herramienta de trabajo.
7. Evaluación Global de la sesión.

En la tabla 5-1 se presentan los resultados de las evaluaciones de las sesiones 1 y 2 de los 12 entrevistados. Esta tabla muestra, por una parte, la frecuencia con los que fueron citados de cada uno de los niveles de evaluación (pésimo, muy malo, malo, suficiente, bueno, excelente). Cada uno de estos niveles de evaluación tiene asignado un valor: -3,-2,-1,1, 2 y 3 respectivamente. Con este valor asignado se obtiene un promedio ponderado que indicará el nivel de aprobación del aspecto evaluado. Los rangos sobre el valor promedio fueron generados para señalar cuando un aspecto es evaluado con un nivel alto, aceptable, débil o malo.

Los rangos utilizados son los siguientes:

- Alto: $X \geq 2,5$
- Aceptable : $1 \leq X < 2,5$
- Débil: $0 \leq X < 1$
- Malo : $X < 0$

Tabla 5-1: Resultados Encuesta de evaluación sesiones XC 1 y 2

EVALUACIÓN SESIÓN XC 1														
CRITERIOS DE EVALUACION	FRECUENCIA						VALOR ASIGNADO						PROMEDIO	NIVEL DE EVALUACIÓN
	PÉSIMO -3	MUY MALO -2	MALO -1	SUFICIENTE 1	BUENO 2	EXCELENTE 3	PÉSIMO -3	MUY MALO -2	MALO -1	SUFICIENTE 1	BUENO 2	EXCELENTE 3		
Nivel de Alcance de los Objetivos de la sesión	0	0	0	0	3	9	0	0	0	0	6	27	2.8	ALTO
Nivel de Satisfacción de los resultados obtenidos	0	0	0	0	3	9	0	0	0	0	6	27	2.8	ALTO
Valor del Intercambio con otras áreas	0	0	1	4	1	6	0	0	-1	4	2	18	1.9	ACEPTABLE
Tiempo de respuesta de requerimientos frente a forma	1	0	1	0	2	8	-3	0	-1	0	4	24	2.0	ACEPTABLE
Red Humana	0	0	1	0	3	8	0	0	-1	0	6	24	2.4	ACEPTABLE
Red Electrónica	0	0	0	4	4	3	0	0	0	4	8	9	1.9	ACEPTABLE
Nivel de utilización de modelos	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A	N.A
Evaluación Global	0	0	0	0	4	8	0	0	0	0	8	24	2.7	ALTO

EVALUACIÓN SESIÓN XC 2														
CRITERIOS DE EVALUACION	FRECUENCIA						VALOR ASIGNADO						PROMEDIO	NIVEL DE EVALUACIÓN
	PÉSIMO -3	MUY MALO -2	MALO -1	SUFICIENTE 1	BUENO 2	EXCELENTE 3	PÉSIMO -3	MUY MALO -2	MALO -1	SUFICIENTE 1	BUENO 2	EXCELENTE 3		
Nivel de Alcance de los Objetivos de la sesión	0	1	1	4	3	2	0	-2	-1	4	6	6	1.2	ACEPTABLE
Nivel de Satisfacción de los resultados obtenidos	0	1	2	2	3	2	0	-2	-2	2	6	6	1.0	ACEPTABLE
Valor del Intercambio con otras áreas	1	0	1	2	3	4	-3	0	-1	2	6	12	1.5	ACEPTABLE
Tiempo de respuesta de requerimientos frente a forma	1	0	2	2	1	5	-3	0	-2	2	2	15	1.3	ACEPTABLE
Red Humana	0	0	0	0	3	8	0	0	0	0	6	24	2.7	ALTO
Red Electrónica	1	1	3	1	1	3	-3	-2	-3	1	2	9	0.4	DEBIL
Nivel de utilización de modelos	0	0	2	1	2	4	0	0	-2	1	4	12	1.7	ACEPTABLE
Evaluación Global	0	1	1	2	3	4	0	-2	-1	2	6	12	1.5	ACEPTABLE

Los resultados de la tabla 5-1 son comentados a partir de los Plus & Delta recogidos de las entrevistas realizadas. En los diagramas de las figuras 5-2, 5-3, 5-4 y 5-5 se puede apreciar un resumen de los comentarios realizados por los entrevistados, a partir de cada uno de los puntos encuestados. Para facilitar el análisis de los comentarios, se definieron 4 categorías para los Plus & Delta: 1) Comentarios generales sobre XC, 2) Valor y nivel de interacciones entre áreas, 3) Equipo de trabajo y 4) Red electrónica y utilización de modelos computacionales.

GENERALES SOBRE METODOLOGÍA	
+	Δ
<ul style="list-style-type: none"> • Metodología inteligente, muy efectiva. • Sirve y es necesaria. • Se superaron expectativas por muy lejos. • Eficiencia a pesar de las dificultades enfrentadas. • Ayuda a interiorizarse mejor en el proyecto. • Recolección de información para posterior trabajo es más fluida. • Ha dado hitos claros en el avance del proyecto. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mejorar la coordinación y gestión en etapa previa y entre sesiones. • Respetar planificación en cuanto a tiempos en la sesión. Ser más "mano de hierro". • Sesión 0 de competencias. • Mayor compromiso y formalidad en el trabajo

Figura 5-2: Plus & Delta- Comentarios Generales sobre XC

VALOR Y NIVEL DE INTERACCIONES ENTRE ÁREAS	
+	Δ
<ul style="list-style-type: none"> • Buena interacción durante presentaciones. • Gran valor en el intercambio de información: • Proveedores, costos, constructabilidad, diseño, etc. • Dentro de las mesas existe interacción. • Da gran valor la diversidad de gente. • Interacción con expertos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Interacciones entre mesas prácticamente nulas. • Definir bien el tamaño óptimo de la sala. Si es muy grande perjudican aun más las interacciones entre mesas.

Figura 5-3: Plus & Delta- Valor y Nivel de interacciones entre Áreas

EQUIPO DE TRABAJO	
+	Δ
<ul style="list-style-type: none"> • Forma efectiva de trabajar en equipo. • Mayor acercamiento y conocimiento en el grupo. • Todos se encuentran informados y participan de las decisiones. • El equipo se preocupa de cumplir. Se ven resultados. • Se logra entender el criterio del otro. Favorece debate. • Se logra mejor relación dentro del grupo; más comunicados. • Se conoce al equipo de otras áreas diferentes a la propia. • Cada uno tiene posibilidades de manifestarse técnicamente sobre el proyecto. • Cambio en la actitud de integrantes; es más fácil aceptar una posición distinta. 	<ul style="list-style-type: none"> • Diferencias en formación y mentalidad generan ritmos distintos. • Darle costumbre al equipo a trabajar de esta nueva forma. • Definir sesiones diferenciadas en cuanto a participantes presentes.

Figura 5-4: Plus & Delta- Equipo de Trabajo

RED ELECTRÓNICA Y UTILIZACIÓN DE MODELOS	
+	Δ
<ul style="list-style-type: none"> • Bien para esta etapa. Se puede intensificar aún más. • El modelamiento acorta el tiempo de trabajo. • Herramienta útil de trabajo. • En los modelos los Inputs son simples, outputs son lo que se necesita. • Le dan mayor dinamismo a los cálculos. • El modelamiento es una buena herramienta para evaluar diseños en forma más técnica y salir de las especulaciones. 	<ul style="list-style-type: none"> • Desarrollar mayores competencias a usuarios de sistema virtual. • Mejorar escritorio virtual. Que sea completamente amigable. • Implementar herramientas TIC de apoyo al trabajo, distintas a PC y pantallas de proyección. Ej: Tablet PC, pizarra interactiva, etc. • Modelos con limitaciones por supuestos, pero resultados útiles para etapa conceptual. • Faltó tiempo para aplicación más óptima de los modelos. Aun se avanza lento. Falta mayor práctica en su utilización. • Lograr el uso de la red electrónica. Que sea un elemento crítico durante la sesión. Exigir resultados electrónicos preestablecidos.

Figura 5-5: Plus & Delta- Red Electrónica y Utilización de modelos computacionales

5.5.1. Ventajas Observadas (Plus)

Generales sobre la metodología

En general la utilización de XC superó las expectativas de todos los miembros del equipo del proyecto. A pesar de las dificultades enfrentadas en las

sesiones de trabajo, la metodología funcionó eficientemente en términos de acelerar el proceso de diseño, aun cuando en varias sesiones de trabajo no se cumplieron los objetivos previamente planteados. Este aceleramiento en el proceso de diseño se debió principalmente a dos factores: 1) las sesiones XC dentro de la planificación se convirtieron en hitos claros que marcaban distintas fases de avance del proyecto y que generaban presión en el cumplimiento de las tareas para la realización de las sesiones; 2) los objetivos de las sesiones de trabajo aspiraban a desarrollar en pocas horas el trabajo de meses. Esta aceleración se podía hacer efectiva gracias a la interacción de todos los especialistas, disminuyendo considerablemente los tiempos de latencia.

Valor y nivel de interacción entre áreas

El nivel de interacción entre distintos especialistas fue catalogado como mucho mayor en comparación a una forma de trabajo tradicional. Gracias a la mayor interacción se entrega una gran cantidad de información útil tanto para el cumplimiento de los objetivos de la sesión como para etapas posteriores del proyecto. Esta información es tan diversa como la diversidad de sus fuentes: proveedores, constructores, arquitectos, ingenieros, cliente, lo que permite obtener resultados de mayor calidad en un tiempo menor.

Un punto a destacar es el alto aporte que se obtiene de la interacción con los proveedores y el cliente por medio de esta metodología. Su conocimiento y experiencia en la industria, aporta un gran valor en las soluciones que se van generando, alcanzándose mayores estándares de satisfacción de sus requerimientos y expectativas, además que les permite a ellos entender y evaluar el proceso de diseño.

Equipo de trabajo

A partir de los comentarios de los entrevistados, se puede decir que XC contribuye al conocimiento y a un mayor afiatamiento de los miembros del equipo interdisciplinario. Esto se puede lograr gracias a la interacción directa que el equipo

tiene en las sesiones XC, generándose un mejor entendimiento y aceptación de los criterios y trabajo de las otras disciplinas.

A través de las sesiones XC todos los miembros de las distintas especialidades interiorizan mejor cada uno de los aspectos del proyecto y participan interactivamente dentro de las decisiones interdisciplinarias, entregando su conocimiento y experiencia técnica. A su vez, al verse expuestos como especialistas, existe mayor presión y responsabilidad por cumplir con sus labores, lo que facilita la obtención de resultados en un tiempo más reducido.

Red electrónica y utilización de modelos

Si bien el equipo no se encuentra altamente capacitado en uso de tecnologías de la información y comunicación y su evaluación para este aspecto en la encuesta es débil, se estima que el uso de modelamiento de los comportamientos estructurales y físico ambiental, más un modelo de evaluación de costos de las propuestas de diseño, les entregó una visión más clara y objetiva de cada solución, lo que permitió tomar decisiones más objetivas en una etapa incipiente del diseño.

5.5.2. Obstáculos y barreras de implementación (Deltas)

Generales sobre la metodología

En el gráfico 5-1 se puede apreciar un diagrama de Pareto donde se presentan las causas, que de acuerdo a los encuestados produjeron el incumplimiento de los objetivos en las sesiones XC 1 y 2. Los factores de mayor incidencia en el logro incompleto de los objetivos trazados para cada sesión fueron la falta de definición y control de compromisos claros entre sesiones (reflejado en el incumplimiento de los *inputs*), como también la poca claridad de los objetivos de la sesión, y la falta de consideración de obtención de resultados en los tiempos programados. Cada uno de estos factores generaba retrasos en el flujo de actividades, produciéndose subsecuentemente un alcance parcial de los objetivos de la sesión.

Por otra parte, se estimó que la cantidad de tareas programadas a realizar en cada una de las sesiones XC eran superiores a las que realmente se podrían realizar en el tiempo programado. La poca consideración de las limitaciones de tiempo, observada dentro del equipo de trabajo - tanto en las etapas previas, posteriores y durante cada sesión - fue atribuida a falta de necesidad o presión en el cumplimiento de tareas en los plazos establecidos. Esta situación generaba retrasos constantes, tanto en las sesiones, como el proyecto en general, convirtiéndose este en otro factor relevante en el no cumplimiento de los objetivos de la sesión XC.

A partir de los factores anteriormente mencionados se vio la necesidad de instaurar como solución un sistema de planificación y control en base compromisos, los cuales fueran establecidos en conjunto por los mismos actores, siendo el equipo en su totalidad quienes definen y programan cada una de las sesiones XC y sus objetivos.

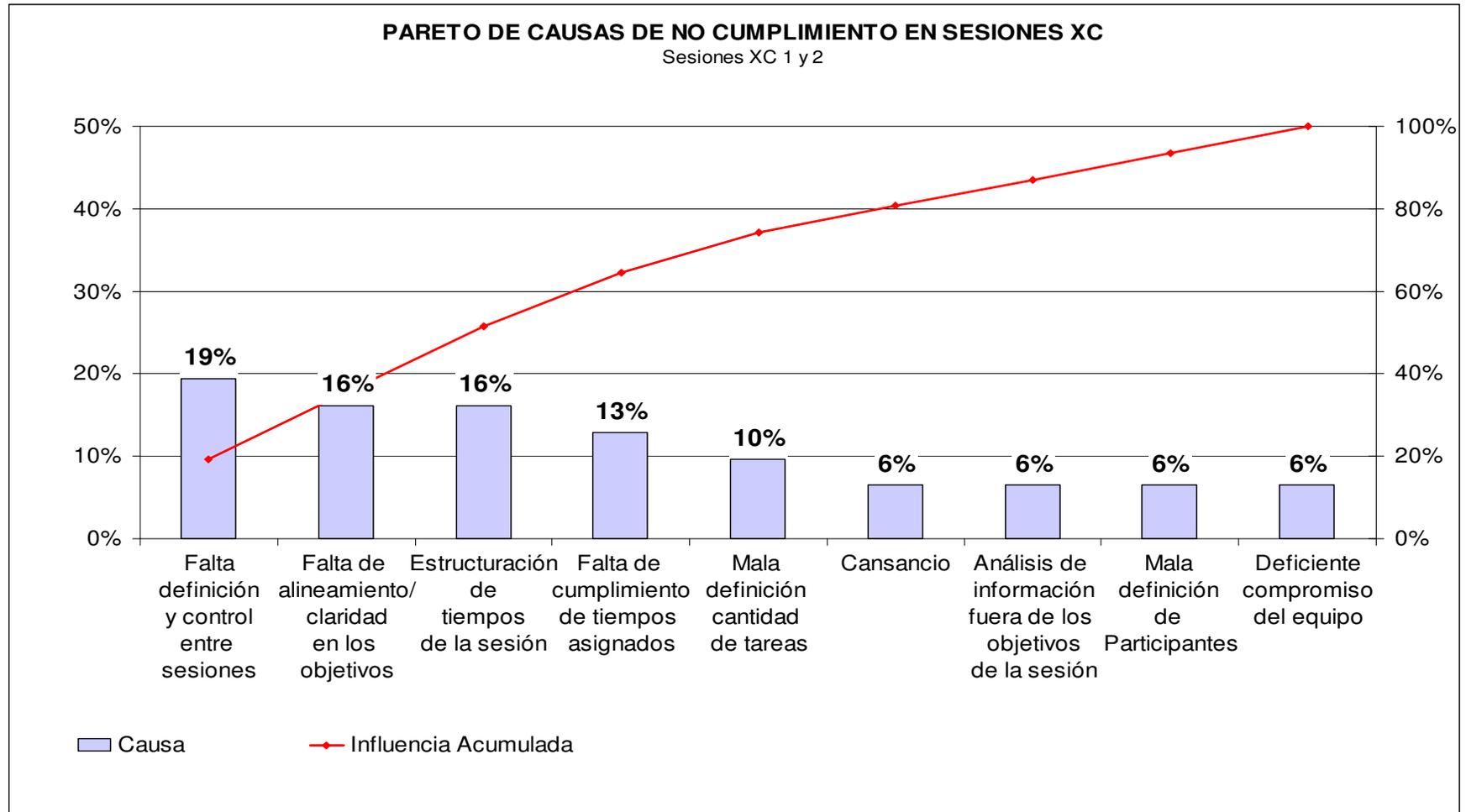


Gráfico 5-1: Pareto de Causas de No cumplimiento de Objetivos Sesiones XC 1 y 2

El alto nivel de cansancio al término de cada sesión fue otro de los comentarios catalogados como deltas. Se observó que a causa del trabajo intensivo y la alta demanda intelectual en una sesión XC, se presentó un alto nivel de cansancio después de 4 horas, lo que redujo el desempeño del equipo. Dado el exceso de tareas programadas hubieron sesiones de hasta 8 horas de trabajo que generaron algunos sentimientos de reticencia a la metodología. Se estima que es necesario planificar las actividades acotando la duración a 4 horas como máximo de tiempo. Se recomienda para las primeras sesiones fijar como objetivo un tercio del trabajo inicialmente considerado, aumentando las tareas a medida que el equipo vaya adquiriendo experiencia en la metodología.

Una barrera en la implementación de XC que marcó grandes diferencias con la metodología de la NASA, fue la disponibilidad parcial de todos los miembros del proyecto para la ejecución de éste. Este factor produjo que la metodología de XC no pudiera ser implementada como un flujo continuo de sesiones XC, como se utiliza en la NASA, teniendo que distanciarse cada una de las sesiones. Esto generó la necesidad de gestión de los períodos entre sesiones XC previamente mencionada y una dinámica distinta en la sesión XC misma. Por ejemplo en la sesión XC 2 fue necesario implementar presentaciones “recordatorias” de los acuerdos cerrados en la sesión XC 1. Esto principalmente por el distanciamiento entre una sesión XC y la otra. Si las sesiones de trabajo se enfocan hacia una misma etapa del proyecto (diseño conceptual, anteproyecto de arquitectura, etc.), se recomienda que el tiempo entre ellas no sea mayor a dos semanas, debido a que se observa olvido de los avances conseguidos en la sesión anterior, lo que obliga a invertir tiempo en recordarlos, actividad que es catalogada como pérdida lo que retrasa el flujo de las actividades agregadoras de valor.

Valor y nivel de interacción entre áreas

La falta de experiencia del equipo en trabajo colaborativo afectó el nivel y valor de las interacciones, las que se presentaban mayoritariamente durante las presentaciones formales, haciéndose casi nulas entre sub-equipos de trabajo cuando se efectuaban tareas

por especialidad. Se propone generar una dinámica iterativa entre presentaciones y trabajos de especialidad, **pero sólo y estrictamente** cuando la interacción no se genere de manera natural entre las mesas. Dado que las presentaciones no agregan valor al cumplimiento de los objetivos, cortan el flujo de trabajo, retrasando su obtención. Además se corre el riesgo que el equipo no logre generar interacciones de manera espontánea, principal requerimiento para un desarrollo óptimo de XC.

Equipo de trabajo

Se observó que la poca experiencia de los participantes en trabajo efectivo en equipo afectó el desarrollo de las sesiones XC en dos aspectos. Por un lado, se retrasó la toma de decisiones debido a las frecuentes discusiones que se generaban, al no lograr acuerdos a causa de diferencias de criterio de cada especialidad. De acuerdo a lo observado a lo largo del caso de estudio, se considera que este aspecto debería mejorar a medida que todos los actores se habitúen a esta nueva modalidad de trabajo, lo que se confirma con el cambio paulatino observado en algunos miembros del equipo producto de las experiencias desarrolladas. Por otro lado, se dificultó la generación de entregables digitales, ya que los actores estaban acostumbrados sólo a reuniones de discusión -donde el trabajo concreto es nulo o muy poco- faltando la iniciativa espontánea de producir entregables en conjunto. Es necesario establecer metas específicas con *outputs* claros, más allá de los objetivos generales, lo que ofrece una guía de los resultados esperados en el tiempo asignado.

Se considera prioritaria la estabilidad de los miembros del equipo de trabajo en un ciclo de sesiones, además de su dedicación exclusiva cuando cada una de éstas se efectúa. Esta afirmación se realiza, primeramente, a partir del hecho que hubo que repasar cada uno de los acuerdos realizados durante la sesión XC 1 en la sesión XC 2, dado que el equipo de trabajo había variado en el tiempo. Por otra parte, el equipo de trabajo tenía otras responsabilidades a cargo, teniendo que muchas veces abandonar la

sesión antes de tiempo, o comenzar a desarrollar otras tareas, ajenas a la sesión y al proyecto, en el tiempo asignado a la sesión XC.

En términos del número de participantes en cada una de las mesas de trabajo o sub-equipos de trabajo, se observó una mejora en el alcance y nivel de los resultados, en equipos reducidos, recomendándose un máximo de 5 personas por mesa. Por esta consideración, es necesario determinar cuidadosamente qué miembros del equipo deben participar, conforme a los objetivos planteados para cada sesión.

Red electrónica y utilización de modelos

Se observó en la mayor parte del equipo una marcada falta de costumbre para el trabajo directamente digital con el apoyo de intranet, lo que provocaba frecuente pérdida de información relevante y una menor velocidad en el flujo de trabajo. Como solución, se sugiere predeterminar el contenido y formato digital de los entregables, conforme a cada uno de los objetivos planteados, exigiendo su inclusión en la red antes del término de la sesión.

5.6. Conclusiones de primeras aplicaciones de XC

A partir de las primeras aplicaciones de XC, se pudo observar que su aplicación fue bien valorada entre los participantes del caso de estudio. Esta alta valoración se obtuvo a pesar de las diversas barreras encontradas en la implementación.

Dentro de las ventajas observadas se encuentran: la aceleración del proceso de diseño, el alto intercambio de información y disponibilidad de información de mayor calidad, mayor alcance de valor con la participación de mandante y proveedores, mayor conocimiento y afiatamiento entre los miembros del equipo, lo que produce un mayor entendimiento de los criterios de diseño de cada especialidad. Además se interioriza de mejor manera cada aspecto del proyecto. Con respecto al uso del modelamiento, se

observó que este permite tomar decisiones más objetivas en etapas tempranas del proyecto.

Las barreras observadas se producen principalmente a raíz del factor humano: poca costumbre a trabajar de manera colaborativa y digital, viéndose reflejado en un bajo nivel de interacción entre sub-equipos de trabajo y en la dificultad de llegar a la toma de decisiones por falta de acuerdo. Además se confirmó que el tiempo de duración de las sesiones XC no debe superar las 4 horas, pues un tiempo mayor causa alto nivel de cansancio, generando reticencia a la metodología.

Un factor que presenta gran diferencia con la metodología de la NASA, fue la disponibilidad parcial de todos los miembros del proyecto para la ejecución de éste. Este hecho produjo que la metodología de XC no pudiera ser implementada como un flujo continuo de sesiones XC, como se utiliza en la NASA, teniendo que distanciarse cada una de las sesiones. Esto generó la necesidad de gestión de los períodos entre sesiones XC. Esta necesidad se reafirma al observarse que el incumplimiento de *inputs* y la falta de control entre sesiones fueron los principales motivos del incumplimiento del alcance de los objetivos de las sesiones XC. Además, sumando la falta de alineamiento y claridad en los objetivos de la sesión, se concluye que es preciso instaurar como solución un sistema de planificación y control en base a compromisos, establecidos en conjunto por los mismos actores. En este sistema de gestión de compromisos debe ser el equipo en su totalidad, quienes definen y programan cada una de las sesiones XC y sus objetivos. Frente a estas recomendaciones, se decide complementar XC con sistemas de control de producción y estructuración del trabajo.

5.7. Resumen

En este capítulo se presentó la metodología preliminar de XC a implementar en un caso de estudio. A su vez se mostraron, las ventajas observadas, barreras de implementación y lecciones aprendidas de las primeras aplicaciones de XC para la

Industria de AEC. A partir de estos resultados, se plantea la necesidad de generar una metodología integral para la gestión del diseño de proyectos más allá de la implementación de sesiones XC, que involucre la gestión en las etapas previas y post-sesiones XC y que además cumpla con los preceptos de la filosofía *Lean*. El planteamiento de esta metodología es tratado en el Capítulo 6 de esta tesis.

6. METODOLOGÍA INTEGRADA DE GESTIÓN DE DISEÑO (MIGD)

6.1. Introducción

En este capítulo primeramente se presentará la conceptualización de MIGD y los cuatro factores que actúan como pilares de la metodología: ejecución de diseño por medio de XC, estructuración del trabajo, control de producción y el mejoramiento continuo tanto del proceso de diseño, como de sus soluciones. Asimismo se presentan los indicadores para MIGD, conformados por indicadores de calidad de la definición del trabajo e indicadores para el control de producción. Finalmente se discuten los motivos por los que MIGD se puede considerar una metodología *Lean* y se plantea la factibilidad de su aplicación en LPDS.

6.2. Conceptualización de MIGD

Si bien XC cumple con la función de acelerar el proceso (y su flujo) a través del alcance de objetivos en cada una de las sesiones, gracias al mayor nivel de interacciones e iteraciones entre las distintas disciplinas, esta metodología está mayormente enfocada a la función de conversión y agregación de valor de la etapa de diseño. Por lo anterior, para alcanzar una optimización integra del proceso de diseño, es importante instaurar una correcta estructuración y secuencia de trabajo, además de generar el flujo actividades que agregan valor con el respectivo control del correcto cumplimiento de las tareas y compromisos asumidos.

Tres de las principales dificultades que se identificaron en el proyecto piloto son: el no cumplimiento de *inputs* de las sesiones XC, la falta de definición y control entre sesiones XC y la falta de alineamiento y claridad en los objetivos del trabajo. Todas estas problemáticas son manejables al incorporar un sistema que permita mejorar la secuencia y el flujo de trabajo por medio de una gestión en base a compromisos confiables, basada en el sistema del Último Planificador por medio de sesiones de

Planificación por Fases (sesiones PP) y la planificación y control en el mediano y corto plazo en base al análisis de restricciones.

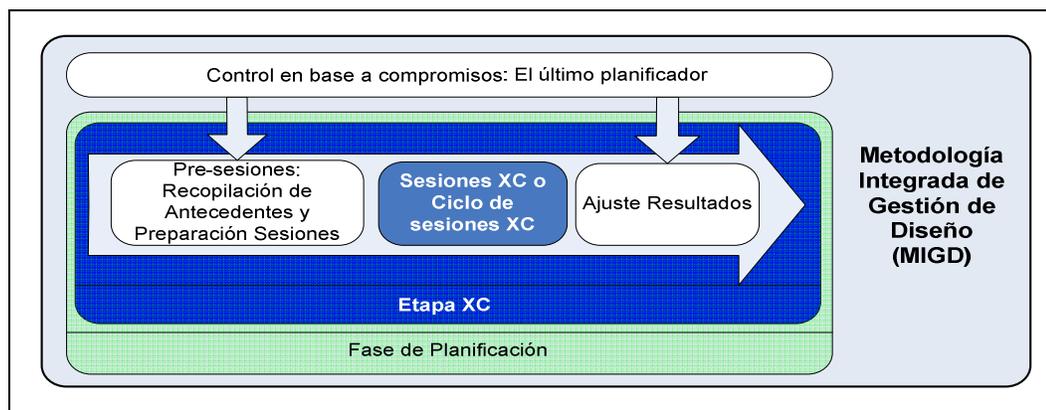


Figura 6-1: Metodología Integrada de Gestión de Diseño

La Metodología Integrada de Gestión de Diseño (MIGD) sugiere integrar estas herramientas haciendo concordar una fase de planificación con una etapa XC y controlando la producción de estas fases por medio de LPS (Figura 6-1). Una etapa XC se refiere al ciclo conformado por las sub-etapas de: recopilación de antecedentes, sesiones XC o ciclo de sesiones XC y posterior ajuste de resultados de las sesiones. Dependiendo de la cantidad de trabajo a desarrollar, se puede implementar más de una sesión XC, generando un ciclo de sesiones XC. Al decir que la etapa XC debe concordar con una fase de planificación, se está planteando que el horizonte a planificar en la fase está regido por una etapa XC, la cuál será controlada y dirigida por medio de LPS.

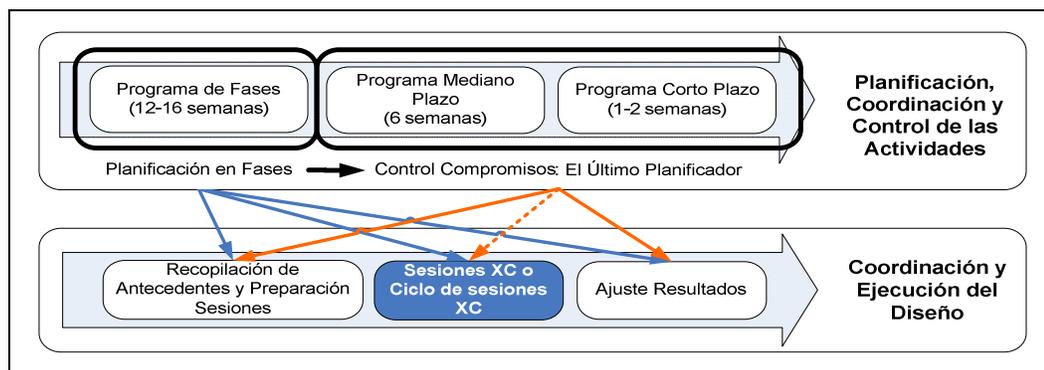


Figura 6-2: Relaciones para la Integración de metodologías

En la figura 6-2 se muestra la relación que existe entre cada una de estas herramientas en MIGD. Como ya fue mencionado, MIGD se basa en forma temporal en una etapa XC. Esta etapa XC es definida mediante la Planificación por fases, en una sesión de planificación PP. Durante la sesión PP se establece la estructura y secuencia de trabajo de la etapa XC, definiendo los *inputs* y *outputs* de las sesiones XC, el número de sesiones a realizar y los objetivos de cada sesión XC. Definiendo estos puntos, PP tiende a organizar espontáneamente cada una de las subetapas de XC. Esta planificación de la etapa XC es tomada como referencia para el subsecuente control de producción realizado por medio de LPS para las sub-etapas adyacentes a las sesiones XC (en el caso de tener un ciclo de sesiones XC, y que cada sesión XC esté separada en forma temporal por más de una semana, LPS también debe ser aplicado entre sesiones XC). Por lo tanto, por medio de LPS, con su planificación por fases, planificación de mediano y corto plazo en base el análisis de restricciones (AR) y control de cumplimiento de compromisos asumidos (por medio de su indicador PPC) con sus causas de no cumplimiento (CNC), se genera la planificación, coordinación y control de las actividades del proceso de diseño y por medio de XC se realiza la coordinación y ejecución del diseño en si mismo, siendo la sub-etapa de las sesiones XC la de mayor influencia en la ejecución efectiva del diseño y en la agregación de valor al producto (Figura 6-3).

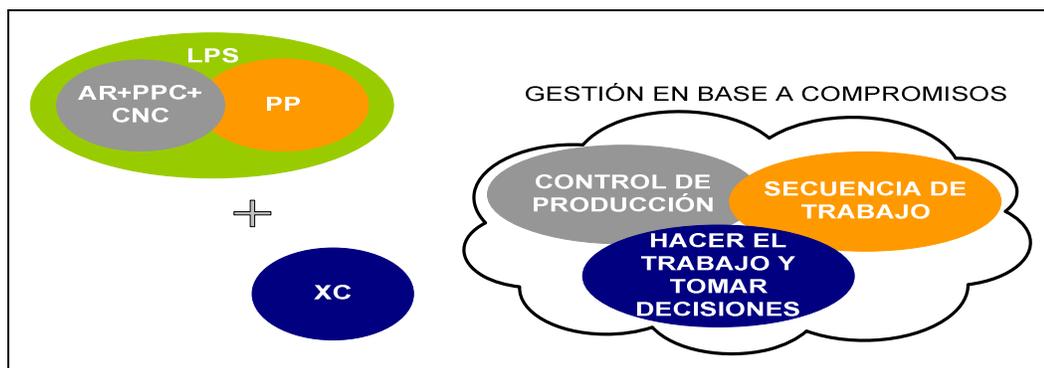


Figura 6-3: Factores de MIGD y sus roles

En resumen, cada una de estas herramientas representa un pilar de apoyo para la gestión y ejecución del proceso de diseño: Control de producción (AR+PPC+ CNC), Estructuración del trabajo (PP) y ejecución integrada de diseño (XC), sustentándose cada pilar entre sí. Cada una de estas herramientas tiene un mecanismo propio para conseguir el mejoramiento continuo. Las problemáticas detectadas con cada una, deben ser consideradas tanto al analizar las causas de no cumplimiento de las otras dos, como en el momento de implementar acciones correctivas, para así lograr un mejoramiento integrado y efectivo (Figura 6-4). En las siguientes secciones se explicará más detalladamente cada uno de estos pilares y el efecto que produce su integración.

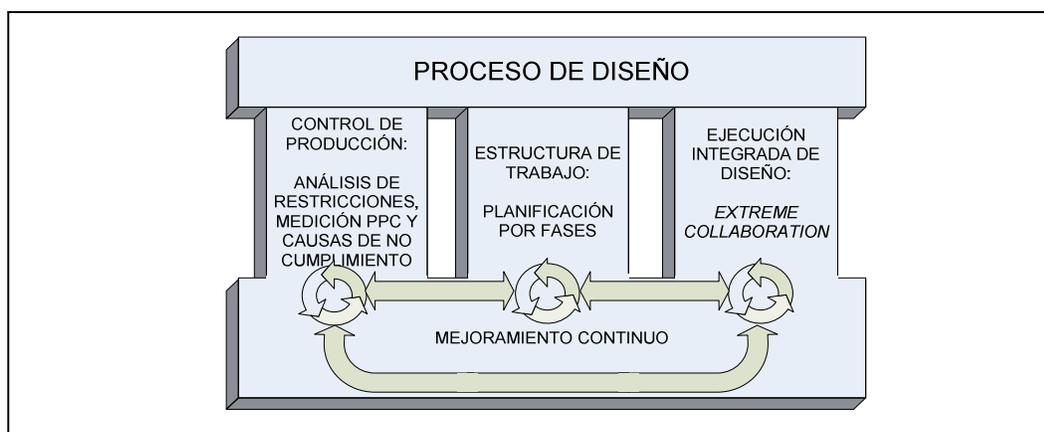


Figura 6-4: Pilares de MIGD

6.2.1. Ejecución integrada de diseño: *Extreme Collaboration*

Como se mencionó en el capítulo 4, XC se compone por tres elementos centrales:

- Sesiones de *Extreme Collaboration*
- Equipo de trabajo
- Lugar Físico

En la figura 6-5 se muestra un paralelo en base a estos tres elementos centrales entre la forma utilizada por la NASA y XC para AEC. Ésta última considera las modificaciones y recomendaciones necesarias de acuerdo a las primeras aplicaciones de XC en el caso de estudio de esta investigación.

SESIONES DE EXTREME COLLABORATION		
XC NASA	<ul style="list-style-type: none"> - 1-3 Sesiones por semana, de 3 a 4 horas cada una. - “Sesiones de diseño de trabajo intensivo” 	XC AEC
		<ul style="list-style-type: none"> - Ciclo de sesiones de acuerdo a la fase del proyecto. El tiempo entre cada sesión no debe ser mayor a dos semanas. Cada sesión no debe durar más de 3 a 4 horas. - “Política interactúa con el trabajo de diseño”
EQUIPO DE TRABAJO		
XC NASA	<ul style="list-style-type: none"> - Líder de Equipo - Ingenieros con experiencia en algún subsistema en particular del diseño de misiones espaciales 	XC AEC
		<ul style="list-style-type: none"> - Líder de Equipo - Arquitectos - Ingenieros estructurales - Ingenieros en Construcción - Expertos en planificación - Cliente - Proveedores <p style="text-align: right;"> TODOS LOS INVOLUCRADOS EN EL PROYECTO QUE SEAN REQUERIDOS EN LA SESIÓN SEGÚN LOS OBJETIVOS DE ÉSTA </p>
ESPACIO FÍSICO		
XC NASA	<ul style="list-style-type: none"> - Equipo multidisciplinario trabaja en un mismo espacio físico con el apoyo de diversas tecnologías - Apoyo en base de datos de proyectos anteriores. 	XC AEC
		<ul style="list-style-type: none"> - Equipo multidisciplinario trabaja en un mismo espacio físico con diversas tecnologías - Apoyo en bases de datos (proyectos anteriores, proveedores, cliente, constructores).

Figura 6-5: Paralelo entre Metodología XC de la NASA y AEC

El uso de XC en este estudio, se ha adaptado a los proyectos de AEC, mostrando su potencial para reducir pérdidas y para mejorar la calidad de la construcción, objetivos comunes a los principios *Lean*. Las principales diferencias entre la XC tradicional utilizado por la NASA y la aplicación de XC para AEC se relacionan con la forma en que se desarrollan las sesiones y la composición del equipo de trabajo.

En XC tradicional se establecen una a tres sesiones semanales con una duración de 3 a 4 horas cada una. Lo que se busca es lograr un trabajo continuo e intensivo en un mismo ambiente de trabajo, por lo que no existe tiempo entre una sesión y otra que requiera ser gestionado. El trabajo de las sesiones es muy técnico. Cada miembro del equipo ejecuta su parte del diseño y se mueve libremente por la habitación en busca de información o del conocimiento necesario para resolver los problemas emergentes. Cuando una situación afecta a todo el equipo, el trabajo es detenido y todo el equipo busca una solución conveniente para todos.

El equipo de trabajo está compuesto por un jefe de equipo o líder e ingenieros con experiencia en un subsistema particular, para el diseño de la misión espacial. Todos tienen disposición exclusiva al proyecto que se está realizando y pertenecen a un mismo organismo (NASA).

La metodología de XC para AEC primeramente, está diseñada para equipos multidisciplinarios con miembros de distintas organizaciones (empresas proveedoras, constructoras, empresa de diseño, mandante, entre otros). Dado esta esencia multidisciplinaria y multi-organizacional de la industria AEC, los involucrados en el proyecto no tendrán disponibilidad exclusiva para el proyecto en cuestión, teniendo que separar el trabajo de las sesiones XC en distintos ciclos de sesiones XC, no en un trabajo continuo como lo era en el caso de la NASA. Este distanciamiento entre un ciclo y otro, genera la necesidad de planificar y gestionar el tiempo de trabajo entre ciclos XC.

Los ciclos de sesiones XC tienen objetivos definidos acordes a la fase de diseño en que se encuentre el proyecto. El tiempo entre cada sesión XC dentro de ciclo de sesiones no debe ser superior a dos semanas. En términos del equipo de trabajo, se encuentra compuesto por un líder de equipo, diseñadores, constructores, proveedores y cliente (o mandante): todas las partes interesadas, siempre y cuando sea necesaria su presencia y participación, en términos de los objetivos perseguidos en la sesión XC en cuestión.

Una gran diferencia con la metodología de la NASA es que en el caso de AEC, las sesiones XC son una instancia “política”, pues al incluir a cada grupo involucrado en el ciclo de vida del proyecto (no solamente al equipo de diseño) y ser estos de distintas organizaciones o empresas, se genera la oportunidad de presentar y negociar los intereses de cada cual, de acuerdo a los objetivos establecidos de la sesión. Por ejemplo, se pueden evaluar y clarificar elementos y situaciones que posteriormente pueden ser agentes generadores de conflictos contractuales durante la ejecución del proyecto; o un proveedor puede transformarse en un agente generador de valor al mostrar un nuevo producto que piensa que podría mejorar el desempeño de la estructura, éste es evaluado por los constructores, calculistas y el mismo cliente en una misma instancia, llegando a un acuerdo en un par de minutos, en vez de días o semanas como sería en la forma tradicional de trabajo si es que se considerara alguna vez la experiencia del proveedor en el diseño (lo que normalmente no ocurre).

El trabajo de diseño como tal, es efectuado en mesas de trabajo. Cada mesa de trabajo tiene un objetivo específico durante la sesión, con entregables definidos para cada integrante. La distribución de participantes en las mesas de trabajo es hecha previamente de acuerdo a los objetivos que le sean asignados a cada sub-equipo de trabajo.

Considerando las dos dimensiones de XC para AEC (política y de trabajo intensivo), es altamente recomendable separar en sesiones distintas las instancias de política y toma de decisiones con las instancias de trabajo intensivo. No es que una sesión sea exclusiva para tomar decisiones o exclusiva para trabajar, siempre es bueno que estas dos instancias se superpongan, pero sí se pueden planificar con una cierta priorización sobre alguno de los dos aspectos. Esto se recomienda porque no necesariamente todos quienes toman las decisiones son quienes deben estar desarrollando el diseño. Un ejemplo claro, es el mandante, él es quien decide que aspectos son los de valor en el diseño, se puede llegar a un croquis con él, pero hacer que este participe en instancias que son de neta evaluación y no de definición puede ser contraproducente en la disposición que este tome con respecto a la metodología.

Existen otras metodologías colaborativas de diseño (por ejemplo, Emmitt et al 2005, Emmitt et al 2004, y Thyssen et al 2008) que se basan en talleres establecidos de diseño. La principal diferencia con el XC para AEC es que el modelo en base a talleres se centra sólo en la toma de decisiones y negociación y que éstos se encuentran predefinidos por la metodología. En el caso de XC para AEC, el objetivo de las sesiones es, por una parte, la toma de decisiones, y por otra, la ejecución del diseño con la participación de todas las partes interesadas. Además, los objetivos de cada ciclo de sesiones no están predefinidas en la metodología. En su lugar, cada organización recibe guías para definir el número de sesiones que necesitan y los objetivos que deben alcanzar en cada una de ellas, según su propio proceso de diseño. Por otra parte XC no tiene una dinámica establecida para cada una de las sesiones, la dinámica se acomoda a la necesidad de cada equipo, lo que permite utilizar distintas herramientas de apoyo como por ejemplo, el diseño de varias soluciones a la vez (utilizado en el caso de estudio), la matriz de estructuración del trabajo (DSM) o la función de calidad. Por último XC para AEC incluye el uso intensivo de las TIC durante las sesiones, concepto que las otras metodologías no consideran dentro de su aplicación.

6.2.2. Estructuración del trabajo: Planificación por Fases

En MIGD se siguen los 12 pasos para la ejecución y éxito de la sesión de planificación por fases presentados en el capítulo 3 en la sección 3.4.3. La diferencia radica en el momento en que se desarrolla la red de actividades necesarias para completar la fase, programando de adelante para atrás desde la fecha de término (Paso 4). Antes de desarrollar la red como tal, se proceden a clasificar aquellas actividades y/o procesos que pueden ser realizados en paralelo y que requieren el involucramiento de distintos actores. Todas las actividades seleccionadas son las que se pueden ejecutar mediante XC. Una vez identificadas las posibles tareas a efectuar durante sesiones XC se debe analizar si la magnitud del trabajo a enfrentar es factible realizarlo en una sola sesión XC: ¿es suficiente con 3-4 horas de trabajo para lograr el cumplimiento de esas tareas? ¿Cuántas sesiones son necesarias realizar para abarcar todas las tareas definidas?. Con la cantidad de sesiones XC para la fase ya establecidas se determinan los objetivos, *inputs*, *outps* y participantes necesarios para cada una de las sesiones: ¿cuáles son los objetivos de cada sesión XC planificada?, ¿qué *inputs* son necesarios para cada sesión programada?, ¿cuáles son los *outputs* de cada sesión XC?, ¿quién debe participar de acuerdo a los objetivos perseguidos en las sesiones XC?. En la figura 6-6 se presenta un diagrama de flujo de la variación al procedimiento normal de la Planificación por Fases para incluir la definición y planificación de las sesiones XC.

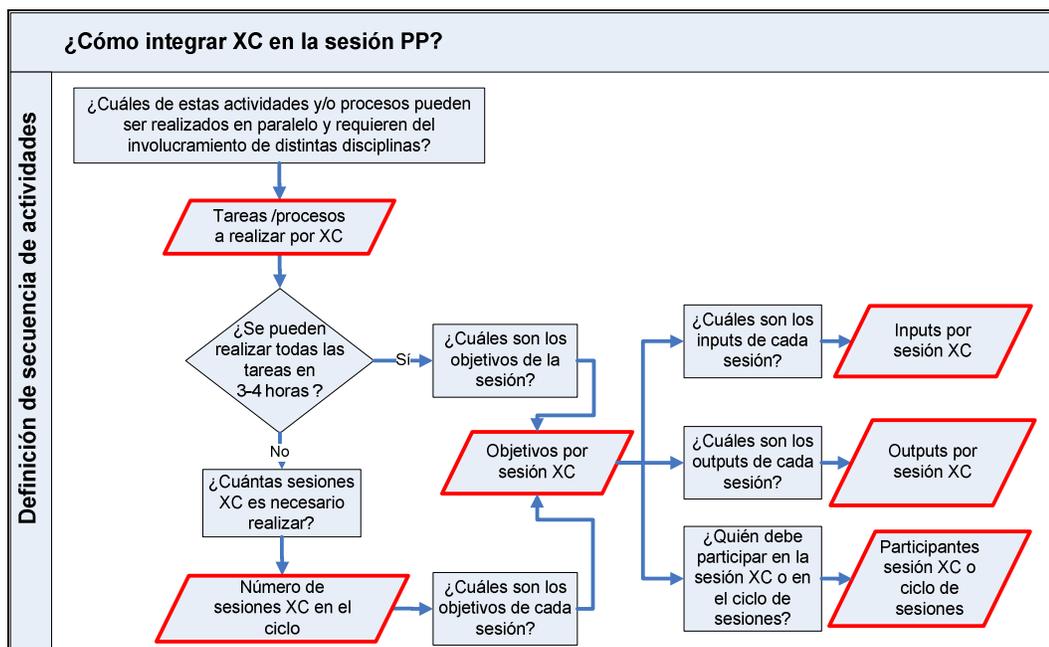


Figura 6-6: Proceso de planificación de Sesiones XC mediante la Planificación en Fases

Al estructurar el proceso de esta nueva manera, la fase tiende a subdividirse en tres las tres sub-etapas de XC (generación de información e *inputs* para sesiones XC, ciclo de sesiones XC y ajuste de resultados), homologándose la fase de planificación con la etapa de XC.

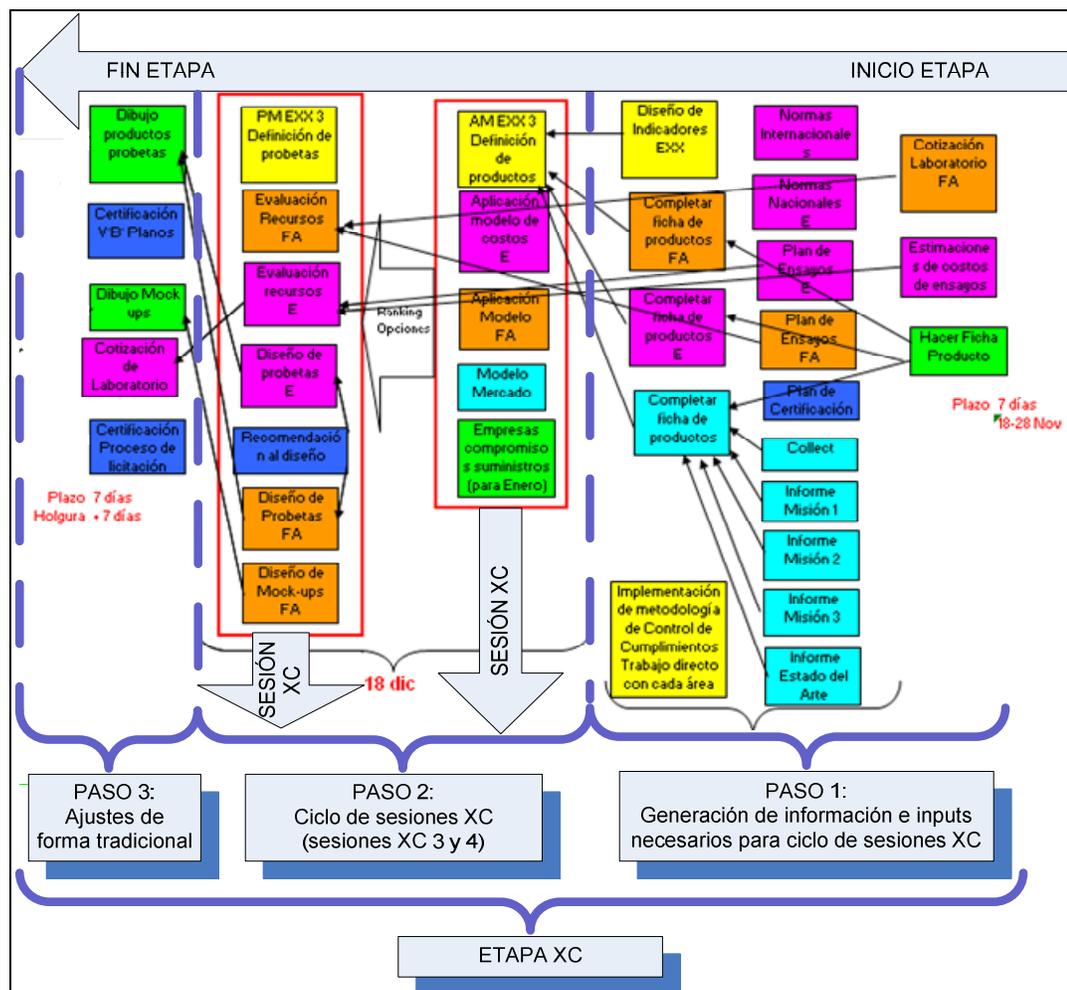


Figura 6-7: Resultado de Planificación por Fases para MIGD

Esta secuencia de trabajo se genera de manera espontánea al agrupar las tareas ejecutables por medio de XC. En la figura 6-7 se muestra un diagrama representativo del resultado de una sesión de planificación por fase integrando la planificación y estructuración del proceso en torno a XC. Se puede observar mediante las flechas salientes desde cada una de las actividades, como cada sub-etapa va “tirando” (*pull*) la generación de información y producción efectiva del diseño de acuerdo a lo requerido en la siguiente sub-etapa. En la sección 6.4. se discutirá en más detalle los efectos, ventajas

e implicancias en el proceso de diseño de la Planificación por Fases orientada a la ejecución del diseño por medio de XC.

6.2.3. Control de Producción: Análisis de restricciones, control de trabajo cumplido y causas de no cumplimiento

Para MIGD, los elementos de análisis de restricciones y control de trabajo cumplido en conjunto con causas de no cumplimiento del Sistema del Último Planificador, son la manera de gestionar y controlar el proceso de diseños en el mediano y corto plazo. Es el mecanismo que verifica que las tareas se estén secuenciando de manera correcta (efectividad de la Planificación por Fases), que éstas puedan ser ejecutadas en el momento planificado y él que identifica y controla cuales son las causas de no cumplimiento de los compromisos asumidos, para generar el posterior mejoramiento. Estas funciones son de vital importancia para el éxito de las sesiones XC, debido a alta influencia del nivel de cumplimiento de las tareas previas en el nivel de alcance de objetivos de éstas. Pues, como se observó en el caso de estudio, sin los *inputs* y la información necesaria en las sesiones XC, el trabajo se vuelve lento y limitado.

6.2.4. Mejoramiento Continuo

El mejoramiento continuo es un factor crucial dentro de la metodología. En ella existen dos tipos de mejoramientos asociados. El primero se relaciona con el mejoramiento constante de la solución de diseño y su ejecución como tal. El segundo es el mejoramiento en términos de la definición del proceso de diseño, su coordinación y control en la ejecución. En la figura 6-8 se observa cómo cada una de las herramientas componentes de MIGD colaboran con estos dos enfoques de mejoramiento con su propio mecanismo de mejoramiento ya existente.

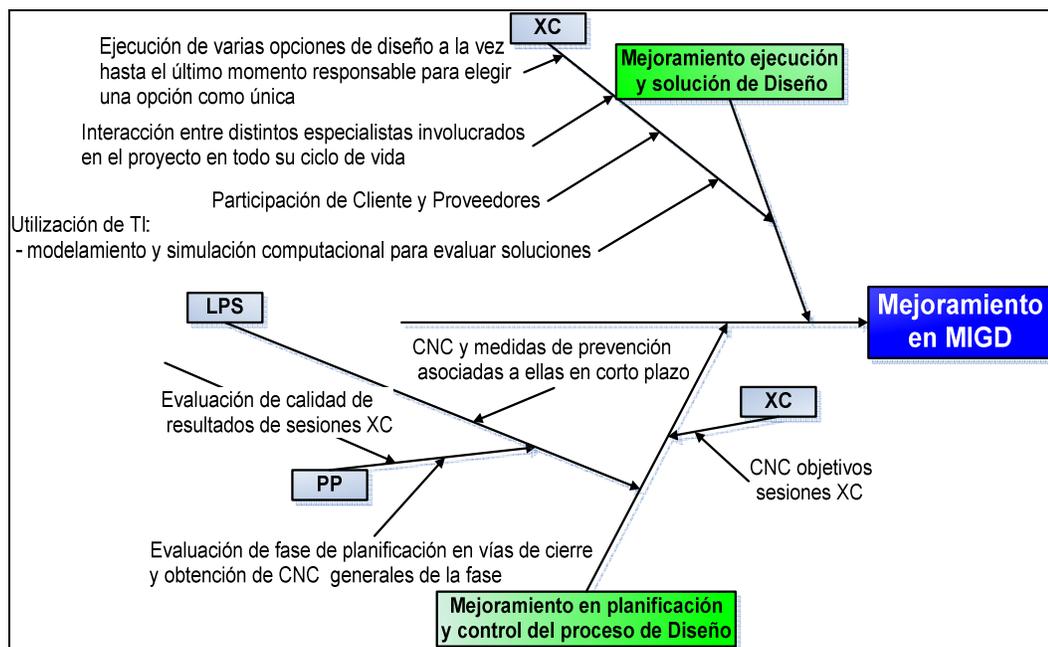


Figura 6-8: Factores de Mejoramiento Continuo en MIGD

XC en su esencia misma es un mecanismo constante de mejoramiento de las soluciones de diseño. En XC la retroalimentación con respecto al valor de las soluciones estudiadas, es constante y define esta forma de trabajo. Los factores que permiten este mejoramiento constante son: la posibilidad de ejecución de varios diseños a la vez; la interacción permanente entre distintos especialistas generando una discusión permanente sobre qué es lo óptimo en conjunto a los constructores, los proveedores y el cliente mismo, minimizándose así las pérdidas asociadas al desarrollo de ideas y criterios que posteriormente podrían ser invalidados por alguno de los involucrados en el proyecto; La utilización de TI que permiten evaluar a priori distintos aspectos del diseño por medio de la simulación y modelamiento y hacer las correcciones que sean necesarias. Por otra parte, en el contexto de esta investigación se ha generado una herramienta que permite obtener las causas de no cumplimiento de los objetivos de la sesión XC, los cuales deben ser considerados al momento de volver a planificar una nueva sesión de

XC por medio de una nueva sesión PP (mayor detalle de esta herramienta de evaluación en la sección 6.3).

Con respecto a la Planificación por Fases, ésta evalúa la fase que se está cerrando al comienzo de la sesión de planificación de la siguiente fase. En esta evaluación se van sacando lecciones aprendidas y formas de mejoramiento del proceso de planificación, justo en el momento previo a planificar. Esto provoca que el equipo esté más pendiente de evitar que los problemas de la planificación anterior vuelvan a ocurrir en la que se está llevando a cabo.

Por otra parte, el Sistema del Último Planificador, también busca el mejoramiento en el corto plazo, por medio de la identificación y registro de causas de no cumplimiento (CNC) de las actividades programadas semanalmente. Este mejoramiento, sólo se hará efectivo al tomar una acción frente a la causa de no cumplimiento. A su vez, LPS, al considerar la planificación por fase como base para la planificación de mediano plazo, permite evaluar en el corto plazo la calidad del trabajo hecho en la sesión de planificación, pudiendo obtener en la reunión semanal de coordinación, los errores cometidos en la sesión PP y sus respectivas acciones preventivas a aplicar en la siguiente sesión de planificación.

6.3. Indicadores para MIGD

El mejoramiento sólo puede verificarse mediante el control de indicadores que reflejen el estado de cada uno de los factores de la metodología. Existe una frase bastante conocida del *Construction Industry Institute* que dice: “lo que no se mide no se controla” y si no se controla, no se puede saber que es lo que se requiere mejorar. En base a este criterio, se presentan indicadores de control para MIGD.

Al revisar la teoría asociada a XC, no es posible encontrar indicadores que controlen su aplicación. Por esto se observa la necesidad de definir que aspectos son

relevantes a ser controlados y buscar un mecanismo que haga factible su medición. Con esta motivación se desarrollaron los Criterios de Calidad de la definición del trabajo para MIGD (sección 6.3.1.). Estos criterios de la calidad de la definición del trabajo, además miden la relación establecida en este estudio (sección 6.2.2) entre XC y las sesiones de planificación de PP. Por su parte, dado que LPS cuenta con sus propios indicadores ampliamente validados en la teoría, fueron estos adoptados dentro de MIGD (sección 6.3.2.).

6.3.1. Criterios de Calidad de la definición del trabajo para MIGD

Para evaluar el éxito y la calidad de la definición del trabajo de una sesión XC, se estableció una herramienta de valoración de cinco parámetros críticos en el desarrollo de XC, de acuerdo a lo observado durante las sesiones y en base a teoría de calidad de planes de trabajo desarrollada por Campero & Alarcón (2003). Esta herramienta de valoración se basa en una breve encuesta (ver Anexo D) aplicada al final de cada sesión XC, que busca identificar el estado de estos cinco parámetros (la relación entre estos cinco parámetros y cada pregunta en la encuesta, se puede encontrar en el Anexo D):

- Definición de objetivos y tareas de las sesiones XC
- Consistencia o legitimidad del trabajo
- Secuencia y Flujo de trabajo en las sesiones XC
- Tamaño de las tareas y objetivos asignados
- Consideración de la limitación del tiempo en las sesiones XC

Además existe un sexto factor en la encuesta que apunta a identificar las problemáticas acontecidas durante la sesión XC evaluada y las acciones a seguir para su solución. Las causas a estas problemáticas pueden estar asociadas a la ejecución (XC) o planificación y control del proceso de diseño (LPS con PP, AR+PPC+CNC), lo que su identificación puede generar mejoramiento en cualquiera de los pilares de MIGD.

Cada uno de los cinco criterios de calidad está enfocado a abarcar, en alguna medida, aspectos relevantes de XC y su relación a PP. En la figura 6-9 se aprecia como los criterios 1, 3 y 4 apuntan a evaluar el trabajo realizado en PP que se ve reflejado en el desempeño de la sesión XC. A su vez, los criterios 2, 3 y 5 se enfocan netamente a factores que son relevantes para la correcta ejecución y cumplimiento de objetivos durante la sesión de trabajo colaborativo (Para entender en mayor profundidad que factores abarca cada uno de los criterios de calidad se recomienda ver el Anexo D).

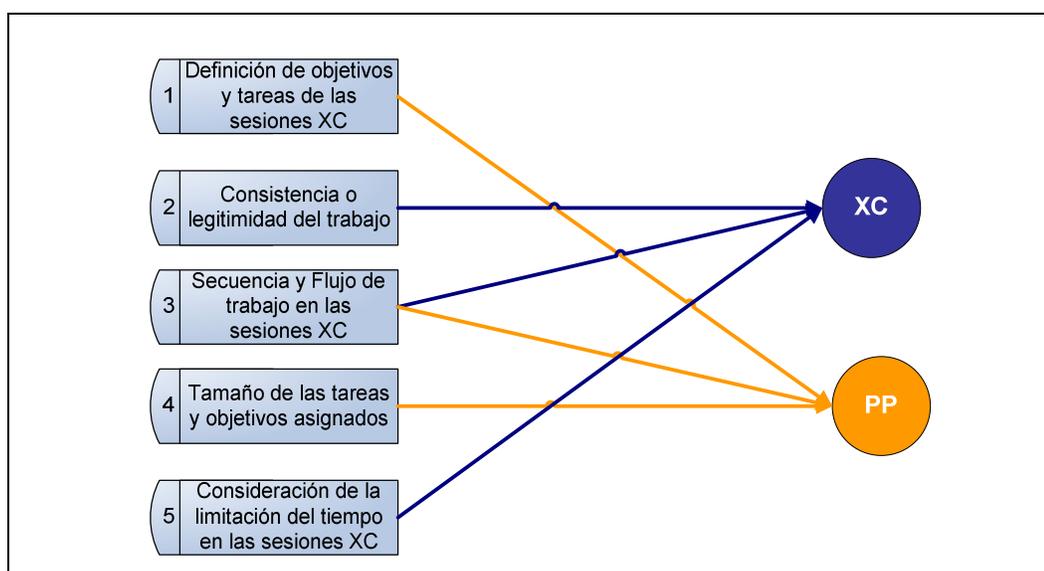


Figura 6-9: Alcance de Criterios de Calidad en Metodologías de MIGD

Gracias a esta herramienta se puede priorizar más objetivamente cuales son los criterios que son necesarios mejorar en el futuro en la aplicación de MIGD. El Gráfico 6-1 es un ejemplo de cómo se miden y entregan los resultados de esta herramienta. Mientras mayor sea el porcentaje obtenido para un cierto criterio, significa que éste ha sido evaluado más satisfactoriamente por el equipo de trabajo. En el ejemplo, donde se deben implementar mejoras prioritariamente es en la secuencia y flujo de actividades de XC.

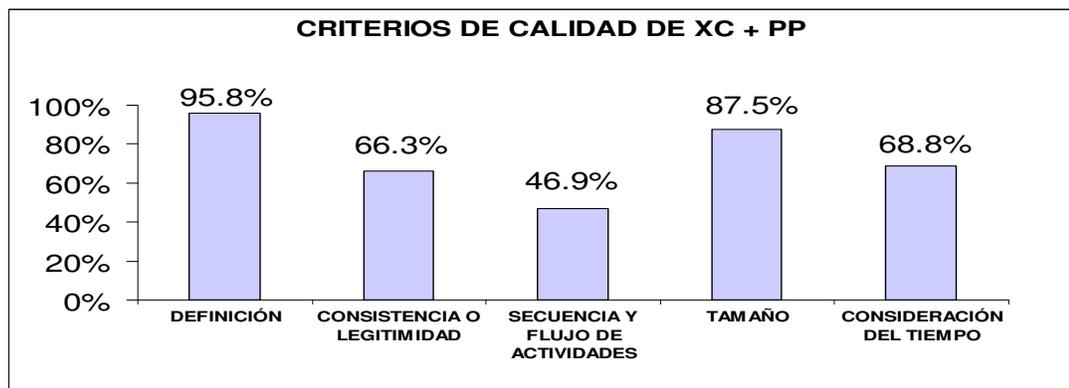


Gráfico 6-1: Resultados Encuesta de Calidad de Definición del Trabajo

Además se puede ir haciendo un análisis comparativo entre aplicaciones de la encuesta para verificar la efectividad de las acciones de mejoramiento implementadas y observar la variabilidad de los resultados. A más variabilidad en los resultados de la encuesta, más atención hay que poner en ese criterio y rescatar las acciones realizadas en aquellas evaluaciones que obtuvieron mejores resultados e identificar las acciones a evitar que produjeron resultados inferiores (Ejemplo Gráfico 6-2).

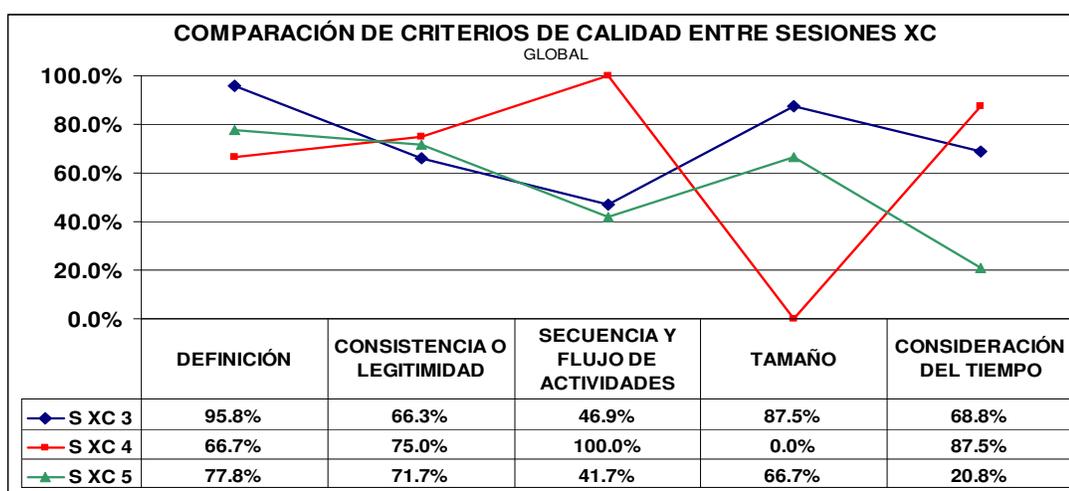


Gráfico 6-2: Comparación de Resultados Encuesta de Calidad de Definición del Trabajo

A su vez, esta gráfica se complementa con el análisis de CNC recogidas en el sexto factor de la herramienta de evaluación a través de un Diagrama de Pareto (Gráfico 6-3).

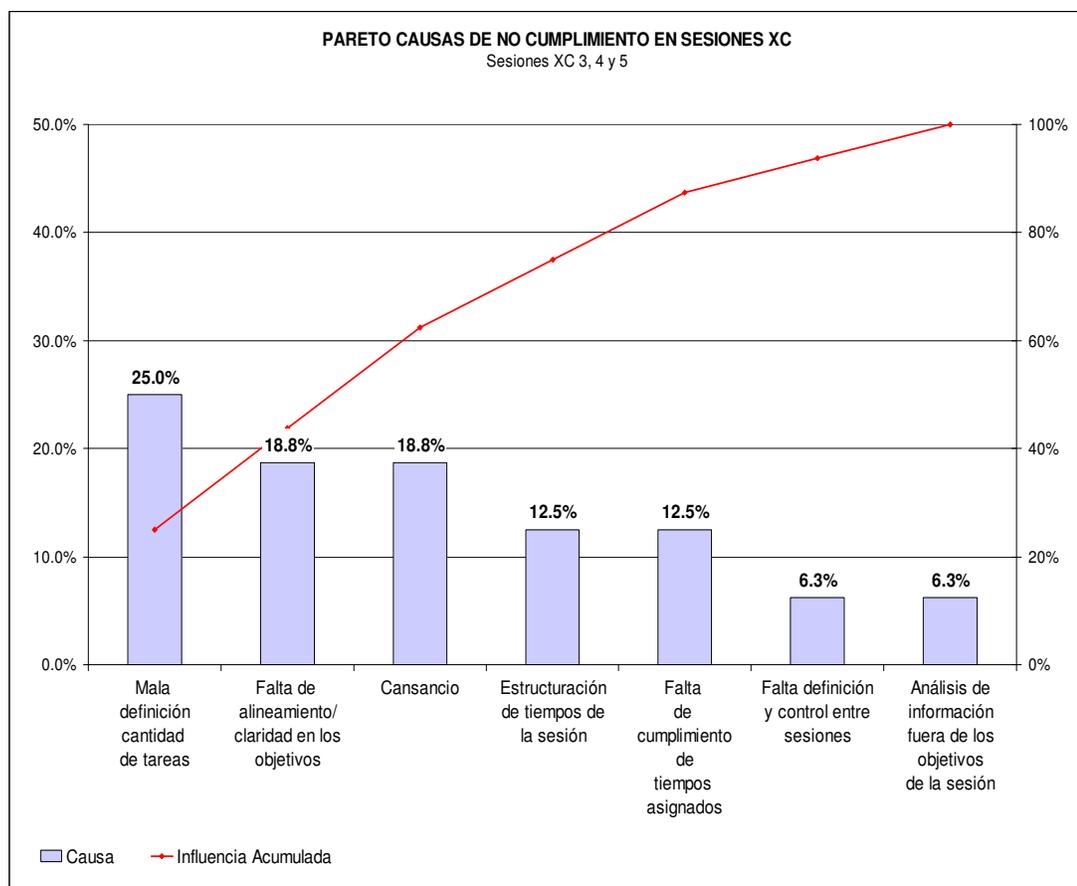


Gráfico 6-3: Pareto de Causas de No Cumplimiento en Sesiones XC

6.3.2. Porcentaje de Actividades Completadas y Causas de no cumplimiento

Este indicador (Ecuación 6-1), proveniente de LPS, controla el desempeño del cumplimiento del plan de trabajo semanal. Por medio de este porcentaje se puede medir el nivel de confiabilidad de las asignaciones de trabajo y la variabilidad del flujo de producción en el período estudiado.

Ecuación 6-1: Porcentaje Actividades Completadas

$$PPC = \frac{\# \text{ Actividades Completadas}}{\# \text{ Actividades Planificadas}}$$

El gráfico 6-4 es un ejemplo del tipo de análisis que se puede realizar en base al PPC.

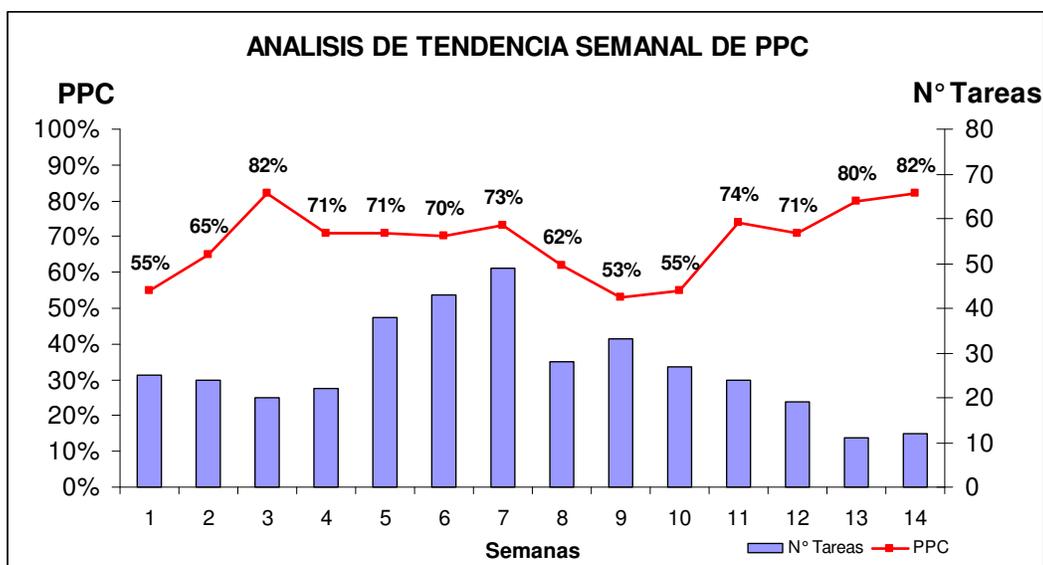


Gráfico 6-4: Análisis de Tendencia de PPC
(Fuente: VTT Building Technology 1997, VPT. Adaptación)

Cuando una actividad planificada no logra ser cumplida, debe registrarse su causa de no cumplimiento (CNC). Al identificar las causas de los problemas y registrarlas, se da el primer paso hacia un mejoramiento, el cual sólo se hará efectivo al tomar una acción correctiva frente a la causa de no cumplimiento. La forma de evaluar estas causas de no cumplimiento es mediante un gráfico de Pareto de las CNC como se mostró anteriormente para el caso de las CNC de las sesiones XC.

6.4. Integración de Metodologías: Planificar *Lean* para Diseñar *Lean*

Al estudiar cada una de las herramientas que compone MIGD se aprecia como cada una ha sido concebida para mejorar alguna de las tres conceptualizaciones del proceso de diseño: Transformación, Flujo y Valor (TFV). En la figura 6-10 se aprecian las contribuciones prácticas de cada una de estos enfoques. Al evaluar cuales son estos objetivos prácticos se aprecia que existe una visión para ejecutar, otra para controlar el flujo y la secuencia de las tareas y la tercera para cuidar la generación de valor para el cliente.

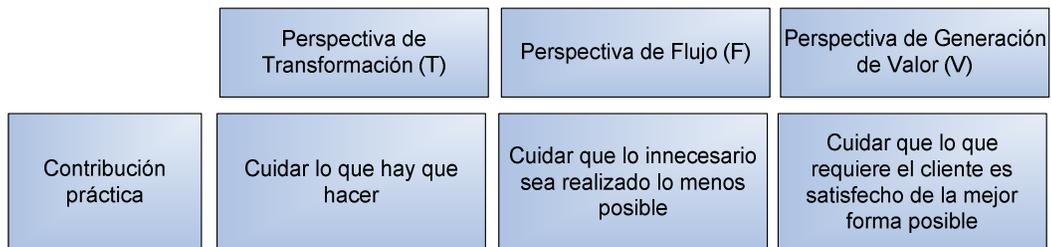


Figura 6-10: Contribuciones prácticas de visiones del diseño
(Adaptada [Huovila et al., 1997] [Freire, 2000] [Koskela, 2000])

Si se evalúa la teoría se pueden encontrar los enfoques que poseen cada una de las herramientas de MIGD (Figura 6-11, 6-12, 6-13, 6-14 y 6-15).

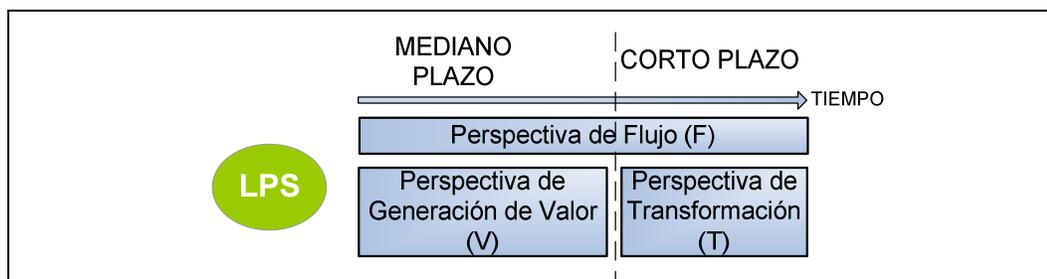


Figura 6-11: Perspectivas abarcadas por LPS

En LPS se aprecia que los enfoques que ésta tiene varían dependiendo a la etapa que se esté utilizando la herramienta. La perspectiva de flujo es la que permanece constante en el tiempo, en cambio en etapas más tempranas de la planificación se busca el valor y a medida que se acerca el corto plazo hay mayor enfoque en la transformación. Esto se logra a través de los distintos elementos que entran en juego en LPS dependiendo del horizonte de tiempo que se esté enfrentando: PP para el mediano plazo y AR+PPC+CNC en el corto plazo.

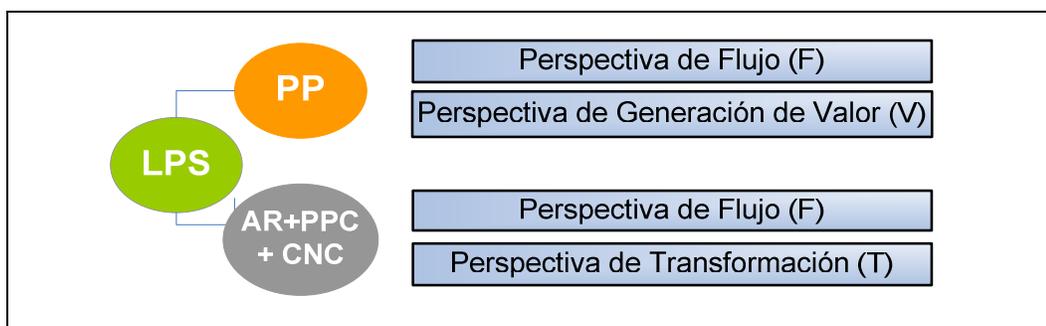


Figura 6-12: Perspectivas abarcadas por elementos de LPS

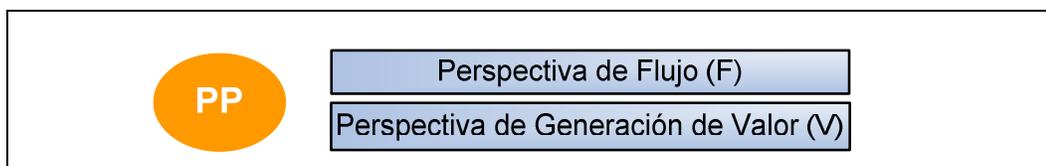


Figura 6-13: Perspectivas abarcadas por PP

Primeramente, la Planificación por Fases tiene como objetivo producir una planificación (a mediano plazo) que maximice la generación de valor y que además sea entendida y apoyada por todos los actores involucrados dentro de una fase del proyecto [Ballard, 2000a]. La maximización de valor del proceso se logra por su naturaleza de técnica *pull* y el entendimiento y consenso que se obtiene gracias a que es una práctica

de planificación en equipo (*team planning*). Al ser una herramienta *pull* se logra eliminar las pérdidas que se producen por sobreproducción [Ballard, 2000a]. A su vez, la planificación en equipo se caracteriza por involucrar a todos los representantes de las distintas partes involucradas dentro de la fase en programación.

La Planificación por Fases, esencialmente, define cuál es el resultado que maximiza el valor para el cliente (tanto interno como externo) y generar una secuencia de actividades lógicas, que permite que éstas fluyan eliminando aquellas tareas que no son necesarias dentro del proceso. Esto se logra gracias a que la planificación es generada y consensuada por todos de tal forma que todos entienden y aprueban lo que hay que hacer, cuándo hay que hacerlo y cuánto tiempo se tiene para realizarlo. Esto produce que el equipo obtenga un mejor entendimiento de qué agrega valor al proyecto y que no lo hace, y además, la secuencia de trabajo es lógica para todos y con duraciones de las actividades razonables.

Estos aspectos de la planificación por fases cumplen con lo que se concibe como estructuración del trabajo. Se entiende por estructuración del trabajo [Ballard 2000] al desarrollo del diseño de operaciones y procesos alineados con el diseño de productos, la estructura de las cadenas de suministro, la asignación de recursos y los esfuerzos del diseño en torno a la constructabilidad. El propósito de la estructuración del trabajo es hacer que el flujo de trabajo sea más confiable y rápido y que a su vez, se entregue valor al cliente.

En consecuencia, PP, cumple con las visiones de flujo y generación de valor. La visión de flujo es abarcada al buscar una secuencia lógica de trabajo que minimice las actividades que no agregan valor al producto. Para poder definir qué no agrega valor al producto, primeramente debemos conocer que es el valor, tanto para los clientes externos como los internos, quedando abarcada la visión de generación de valor. En

otras palabras PP define qué necesitamos, cómo lo generamos y para cuándo es requerido.

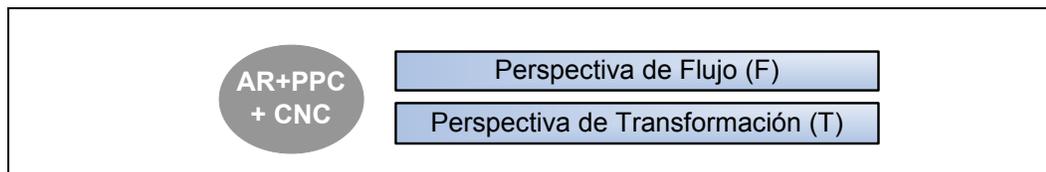


Figura 6-14: Perspectivas abarcadas por AR y CNC

En segundo lugar, tenemos el análisis de restricciones (AR), el control del cumplimiento del plan (PPC) y el control de las causas de no cumplimiento (CNC). Con estos aspectos de LPS se apunta a aumentar la confiabilidad de la planificación y los niveles de desempeño, por medio del control de producción enfocado en la reducción de la variabilidad [Ballard, 1994].

El control de producción consiste en el control del flujo de trabajo y de la producción unitaria, es decir, considera la perspectiva de flujo tanto como la transformación. La visión en base al flujo está abarcada en el control de **flujo** del trabajo, que se realiza mediante el proceso de *lookahead*. Este proceso genera alertas tempranas de futuras problemáticas, lo que permite tener un mayor tiempo para resolverlas. En cambio, la visión de transformación es incluida mediante, el control de producción unitaria, la cual se implementa mediante los planes de trabajo semanales que apuntan a **ejecutar** sólo lo que se puede hacer. Además dentro del control de producción se busca identificar las causas de no cumplimiento del plan de trabajo definido, para tomar acciones sobre ellas, generándose un mejoramiento continuo en el control de producción. Este enfoque de mejoramiento busca la reducción de la variabilidad, la cual se basa en la teoría estadística de control. Esencialmente, se busca medir la variabilidad de los procesos, y por medio de ese control identificar sus causas y poder eliminarla.

Mientras más variabilidad presente el proceso aumenta la porción de actividades que no agregan valor y el tiempo necesario para ejecutar un producto (tiempo de ciclo). Este último punto reafirma la visión de flujo que busca cuidar que lo innecesario se haga lo menos posible.

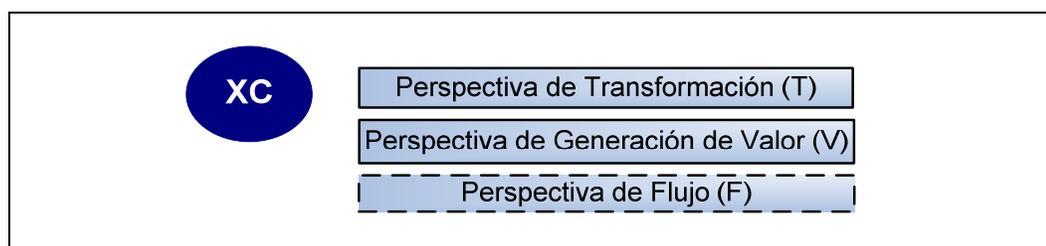


Figura 6-15: Perspectivas abarcadas por XC

Por su parte XC tiene como objetivo acelerar el proceso de diseño en las primeras etapas del proyecto y optimizar su calidad. Para lograr este objetivo se consideran tres factores relevantes que definen esta herramienta: trabajo en conjunto de un equipo multidisciplinario de especialistas, en un único espacio físico y apoyado de un fuerte uso de software computacional de tecnología de punta. Dada esta definición de XC, se puede apreciar cómo esta metodología en su concepción se basa principalmente en la visión convencional de transformación. En el marco de esta conceptualización (transformación), el mejoramiento del diseño y su gestión se fundamenta en la utilización de herramientas TI para una mayor eficiencia de las distintas tareas (CAD, modelos de cálculo, modelos de simulación, herramientas de apoyo a la decisión). Según Fischer y Kunz (2004) este mejoramiento se logra al predecir anticipadamente el desempeño que tendría un diseño en el ámbito de su aplicación en terreno, su programa (relacionado con el proceso a aplicar) y organización, respetando los objetivos de negocio de las principales partes involucradas en el proyecto. Para lograr hacer predicciones acertadas, es necesario que la aplicación de TI sea multidisciplinaria. Es decir, es necesario que las TI se orienten a apoyar la integración de la información y las

diferentes perspectivas de las distintas alternativas de diseño para cada especialidad involucrada.

Si se evalúa la estructura con la que fue concebida XC (Etapa XC) se puede observar explícitamente la estrecha relación de XC con la visión de conversión (Figura 6-16).

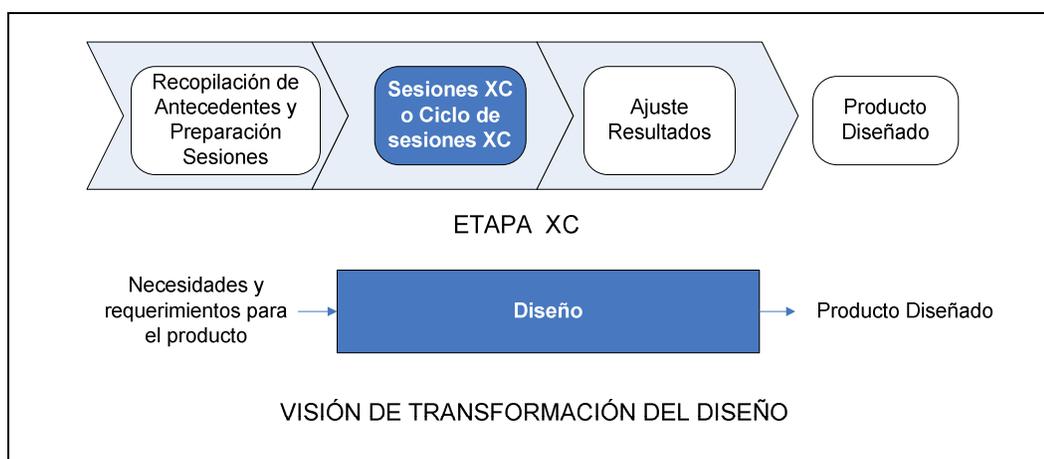


Figura 6-16: Conceptualización del diseño en XC vs. visión de transformación

Con respecto a la visión de generación de valor, XC al basarse en trabajo colaborativo, se está en permanente comunicación con todos los involucrados en el ciclo de vida del proyecto, incluido el mandante. Esto genera que el producto obtenido alcance su mayor valor para cada miembro del proyecto (clientes internos) y el mandante (cliente externo).

La visión de flujo en XC tiene un enfoque distinto al expuesto en PP y AR+PPC+CNC de LPS. Según el principio de Flujo de la filosofía *Lean*, es necesario no seguir pensando y estructurando el trabajo en áreas o departamentos, funciones, lotes y colas, sino que en “equipos de producto” para generar un flujo continuo de las

actividades que crean valor. XC primeramente genera estos equipos de producto dada su dinámica de metodología colaborativa, el equipo no se encuentra seccionado en distintos lugares, ni tienen distintos objetivos, sino que trabajan como un todo en un mismo ambiente. Por medio de este trabajo colaborativo, XC genera un flujo continuo, pues “tira” la producción durante las sesiones XC gracias al mayor nivel de iteración e interacción en el equipo. Cada uno hace lo que es realmente requerido por el resto del equipo, además de producirlo de una manera más expedita, dado que las esperas por respuestas se disminuyen a casi cero.

Muchas veces, dentro de un proceso de diseño convencional de transformación, no se puede avanzar en el proceso por falta de información o de los *inputs* necesarios para el proceso (Figura 6-17). Si en vez, de comenzar la recopilación de información en paralelo con el diseño, se trabajara exclusivamente en una primera etapa de recopilación de antecedentes (como es expuesto en XC para AEC), generando un buffer de *inputs* e información hasta el último momento responsable⁴, estas detenciones por escasez de antecedentes en el flujo del proceso se verían minimizadas acelerándose la velocidad del proceso. Es decir, al esperar, generando información necesaria para el trabajo se puede empezar el proceso más tarde, logrando los mismos objetivos en el mismo horizonte de tiempo (Figura 6-18). Si además, se incorporan las sesiones XC dentro del proceso de diseño se reducen los tiempos de respuestas y aumentan las iteraciones del diseño alcanzando los objetivos planteados para el proceso en un horizonte menor de tiempo, teniendo la opción de terminar antes el proceso de diseño, o invertir ese tiempo en una mayor generación de valor (Figura 6-19).

⁴ Último momento responsable: es el último momento en que se puede desplazar una decisión antes de eliminar una opción importante. La clave es tomar decisiones tan tarde como se puede esperar de manera responsable porque ese es el punto en el que se tiene más información sobre la cual basar la decisión.

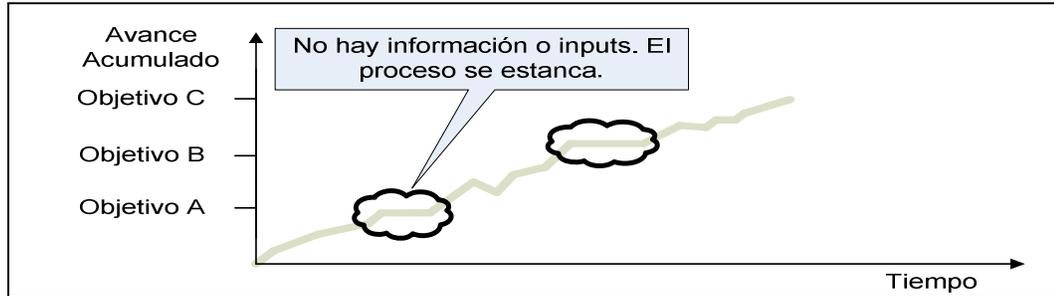


Figura 6-17: Avance de proceso de diseño convencional

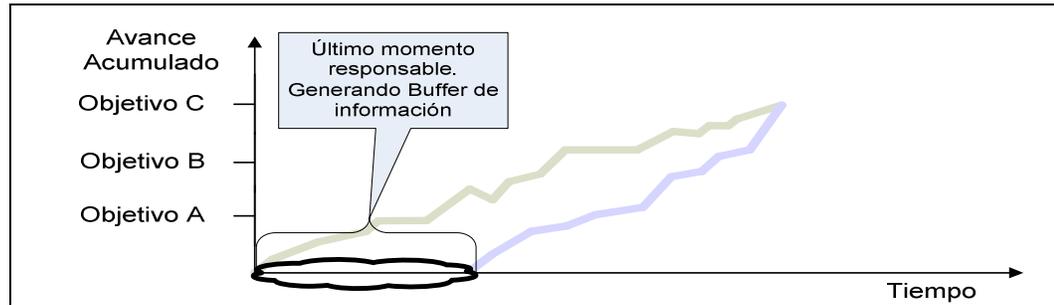


Figura 6-18: Proceso es acelerado gracias a buffer de información

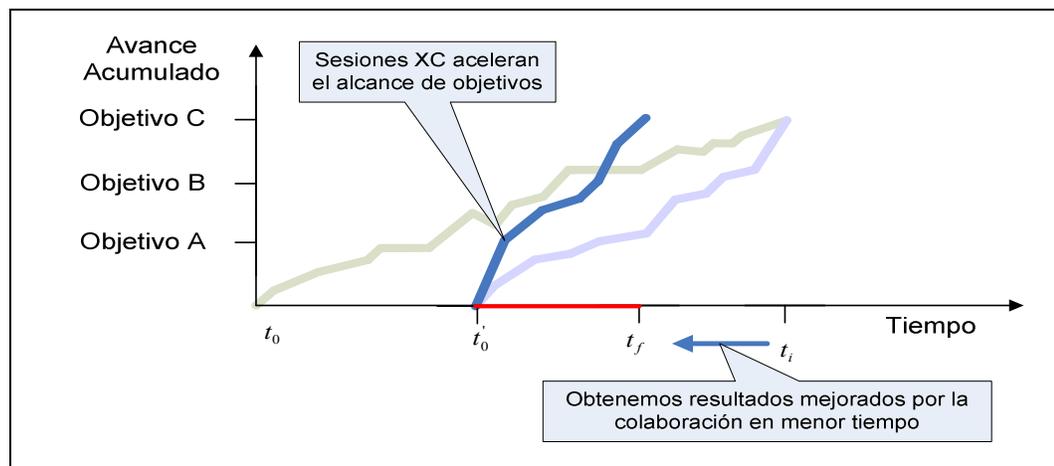


Figura 6-19: Sesiones XC aceleran el flujo de trabajo

Sin embargo, es de suma importancia destacar, que para que XC pueda tirar la producción requiere que esté claramente establecido qué es lo que genera valor (objetivos claros). Además no se debe olvidar que XC no considera dentro de su metodología generar una secuencia óptima de tareas que lleven a un éxito y una maximización de flujo y valor, tanto en las sesiones XC y el resto del proceso de diseño, pudiéndose producir pérdidas y retrasos en el proceso por una secuencia errónea. Por esto se ve la necesidad de integrar esta metodología con LPS, para no descuidar qué es lo que genera valor y la secuencia para generar un flujo óptimo en todo el proceso de diseño y no sólo en las sesiones XC.

Al recopilar el análisis anterior sobre cómo influyen las distintas visiones del diseño a las herramientas de MIGD, se puede concluir que al ser éstas integradas, como un conjunto interactivo, se logra abarcar cada una de estas visiones en todas sus dimensiones, generándose una metodología que asegura el cumplimiento del Modelo de TFV planteado por Koskela (2000) para la efectiva aplicación de *Lean* en la etapa de diseño de la Industria AEC.

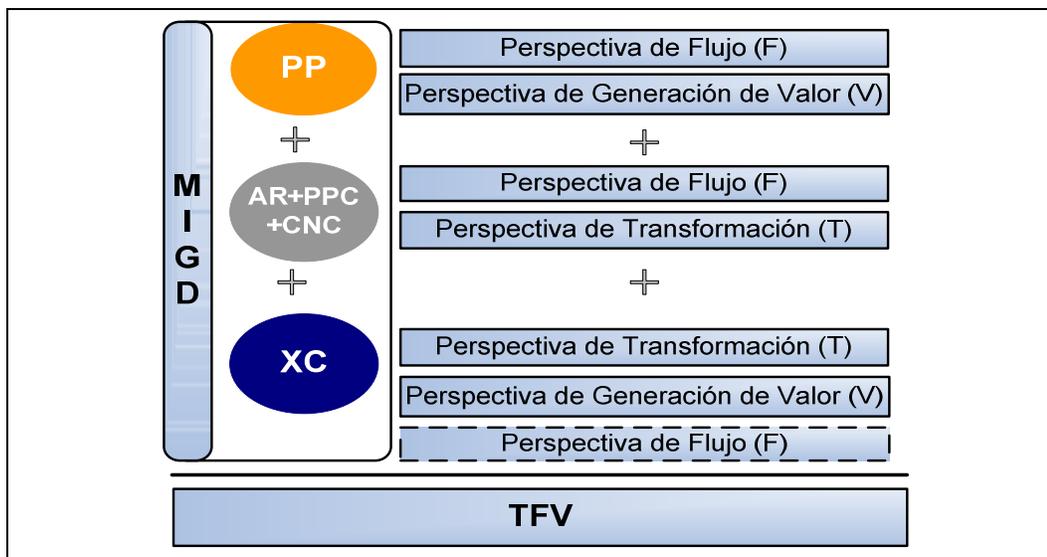


Figura 6-20: MIGD vs TFV

A lo largo de esta sección se fueron evaluando las herramientas de MIGD en términos de las distintas conceptualizaciones de diseño y cada uno de los principios *Lean* asociados a ellas. A modo de resumen se entrega la tabla 6-1, donde se recapitulan cada uno de los principios de la filosofía *Lean* y su influencia dentro de las herramientas de MIGD.

Tabla 6-1: Herramientas de MIGD y los principios *Lean*

	XC	PP	AR+PPC +CNC
Especificar valor	✓	✓	
Identificación del Flujo de valor		✓	
Flujo	✓	✓	✓
Pull	✓	✓	✓
Perfección	✓	✓	✓

6.5. MIGD: una metodología para LPDS

El LPDS es un modelo que tiene como objetivo mejorar el proceso de cómo se diseña y construye. Al ser MIGD una metodología que aplica los principios *Lean*, es también una buena alternativa para ser utilizada en LPDS. En la figura 6-21 se muestra como se puede utilizar la metodología en LPDS.

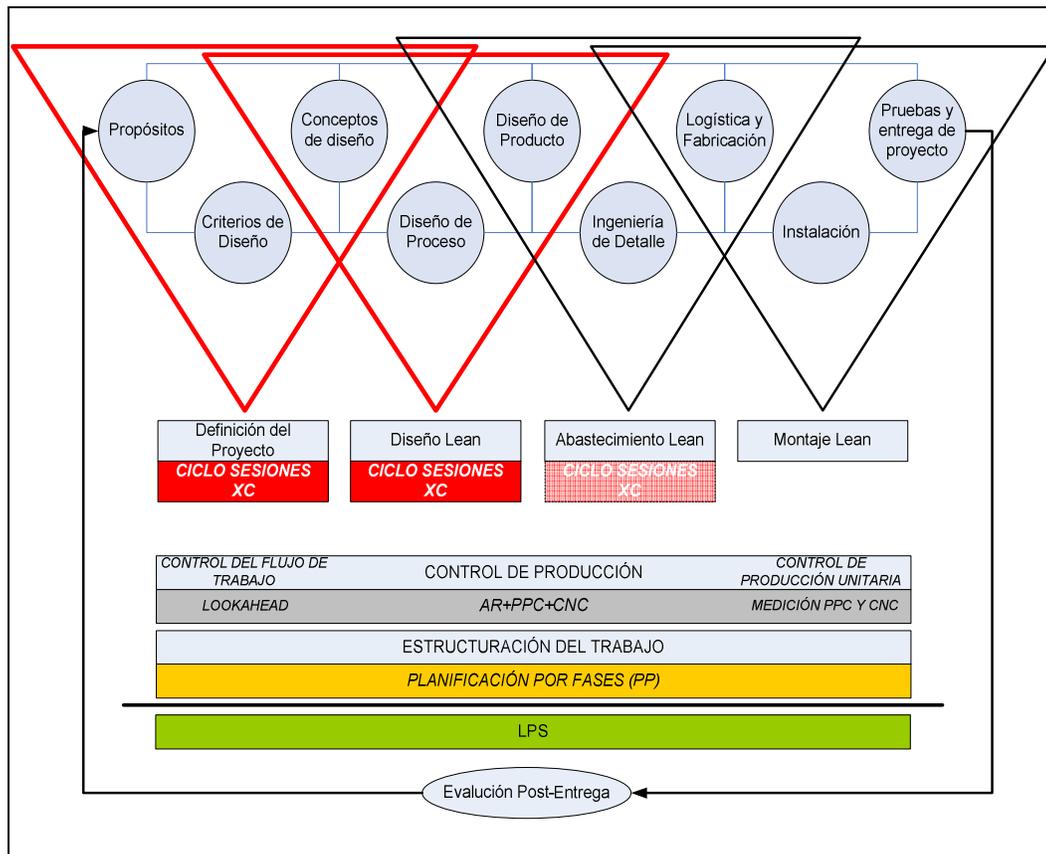


Figura 6-21: MIGD en LPDS

Anteriormente (sección 6.4.) se ha explicado cómo LPS actúa por medio de AR+PPC+CNC como herramienta de control de producción y cómo lo hace por PP en términos de estructuración del trabajo. En términos de XC, esta metodología puede ser utilizada para ejecutar cada uno de los módulos pertenecientes a las etapas de definición del proyecto y diseño *Lean*. De acuerdo a la dimensión del proyecto, cada módulo puede ser una sesión de trabajo XC o un ciclo de sesiones. En el caso de estudio evaluado no se consideró la ingeniería detallada de la etapa de abastecimiento *Lean*, pero se estima que XC podría ser utilizado en este módulo. Para esto, puede ser necesario cambiar el enfoque de XC para AEC, tratando de idealmente volcarse a la definición de la NASA de trabajo intensivo continuo. En caso de ser infactible, se pueden usar las sesiones XC

como instancia de realineamiento constante de aquellos puntos que no hayan sido encontrados antes en el proceso y tomar decisiones en conjunto. Se cree que la periodicidad en este caso debiera ser de al menos dos veces a la semana y que la participación en la sesión se limite estrictamente a aquellos actores que se vean directamente afectados por los posibles cambios a implementar.

Si bien la metodología no es aplicable a todo el proceso de LPDS con sus tres herramientas, los módulos de control de producción y de estructuración del trabajo son transversales a lo largo de toda la vida del proyecto. Por otra parte, su aplicación en las etapas de definición y diseño ayuda a cumplir con el objetivo de mejorar el proceso de cómo se diseña, por medio de: la colaboración de todos los involucrados; la optimización de la secuencia de las actividades; la generación de valor y el mejoramiento continuo, entre otros. Al tener el equipo estos conceptos internalizados desde el comienzo, y comenzar la construcción con un diseño optimizado, LPS, con AR+PPC+CNC y PP, satisface los requerimientos de gestión de la etapa de materialización, por medio de compromisos confiables.

6.5.1. ¿Cómo MIGD cumple con las características esenciales de LPDS?

A continuación se presentan las 7 características esenciales de LPDS, según Ballard (2000). Una vez enunciada la característica, se explicita qué herramientas MIGD velan por el cumplimiento de esa característica:

1. El proyecto es estructurado y gestionado como un proceso generador de valor. (*LPS: Planificación por Fases*)
2. Los *stakeholders* involucrados posteriormente en el proyecto participan en la pre-planificación y el diseño del proyecto a través de equipos multidisciplinarios. (*Extreme Collaboration*)
3. El control del proyecto tiene la tarea de ejecución en lugar de depender de la detección de varianza de lo ya ocurrido. (*LPS: plan semanal y PPC*)

4. Los esfuerzos de optimización están enfocados en generar un flujo de trabajo confiable en lugar de mejorar productividad. (*LPS: Planificación por fases, análisis de restricciones*)
5. Técnicas *pull* se utilizan para regular el flujo de materiales e información a través de redes de especialistas que cooperan. (*el Último Planificador y Extreme Collaboration*)
6. Holguras (*buffers*) de capacidad e inventario son utilizados para absorber variabilidad. (*Etapa XC y su integración con la planificación por fases*)
7. Loops de retroalimentación son incorporados en todo nivel, orientados a un ajuste rápido del sistema. Se mantiene un aprendizaje permanente. (*LPS: Planificación por fases y CNC; y Extreme Collaboration*)

6.6. Resumen

En este capítulo primeramente se presentó la conceptualización, los factores y principios en los que se basa MIGD. Los cuatro factores que actúan como pilares de la metodología son: ejecución de diseño por medio de XC, estructuración del trabajo por medio de PP, control de producción por medio de AR+PPC+CNC y el mejoramiento continuo tanto del proceso de diseño, como de sus soluciones a partir de todos sus módulos.

En segundo lugar, para poder llevar un control del desempeño de MIGD se presentaron indicadores que fueran guiando las acciones de mejoramiento a implementar. Dada la falta de indicadores para XC en la bibliografía, se generaron indicadores para medir la calidad de la definición del trabajo y a partir de LPS se incorporó el porcentaje de plan cumplido (PPC) para el control de producción. Todos ellos se apoyan de la recopilación de causas de no cumplimiento para poder tomar acciones sobre ellas. Este último punto es indispensable en el camino del mejoramiento pues es el medio por el cual se dan las guías para mejorar el proceso. Si no se conoce la fuente de los problemas, difícilmente se pueden tomar acciones sobre ellas.

Además se evaluaron cada una de las herramientas de MIGD en términos de las distintas conceptualizaciones de diseño del modelo TFV (transformación, flujo y valor) y cada uno de los principios *Lean* asociados a ellas.

Finalmente se presentó como MIGD puede ser una buena alternativa para ser utilizada en el modelo LPDS y cómo cumple con las características esenciales de este modelo.

7. RESULTADOS OBSERVADOS DE APLICACIÓN DE MIGD

7.1. Introducción

En este capítulo se presentan los resultados de la aplicación de MIGD en el caso de estudio. Estos se muestran en tres secciones: Resultados de la ejecución integrada de diseño por medio de XC, resultados del módulo de estructuración del trabajo por medio de PP y los resultados del módulo de control de producción (AR+PPC+CNC). Finalmente se presenta un resumen de los resultados obtenidos, catalogados por cada una de las herramientas y su integración.

Al hacerse la evaluación de las primeras dos sesiones XC en el caso de estudio, se vio la necesidad de incentivar la planificación en el mediano y corto plazo en base a compromisos confiables y su correspondiente control.

En la figura 7-1, se observa la implementación de planificación por fases y control de compromisos en el caso de estudio. A partir de cada implementación se fueron obteniendo resultados que confirmaban la necesidad de dar paso al siguiente módulo de la MIGD. Hay que mencionar que en el proyecto piloto, no fue factible utilizar el Sistema del Último Planificador en su totalidad: sólo se logró implementar PP, pero no el análisis de restricciones y las reuniones semanales para la generación del plan de trabajo en el corto plazo. A pesar de lo anterior, igualmente se realizó un seguimiento del cumplimiento compromisos de las sesiones PP y sus causas de no cumplimiento, con cada uno de los responsables definidos en la sesión de planificación. Los resultados obtenidos en el control de compromisos reafirman la necesidad de la implementación de LPS en forma integral, especialmente su análisis de restricciones y generación del plan semanal.

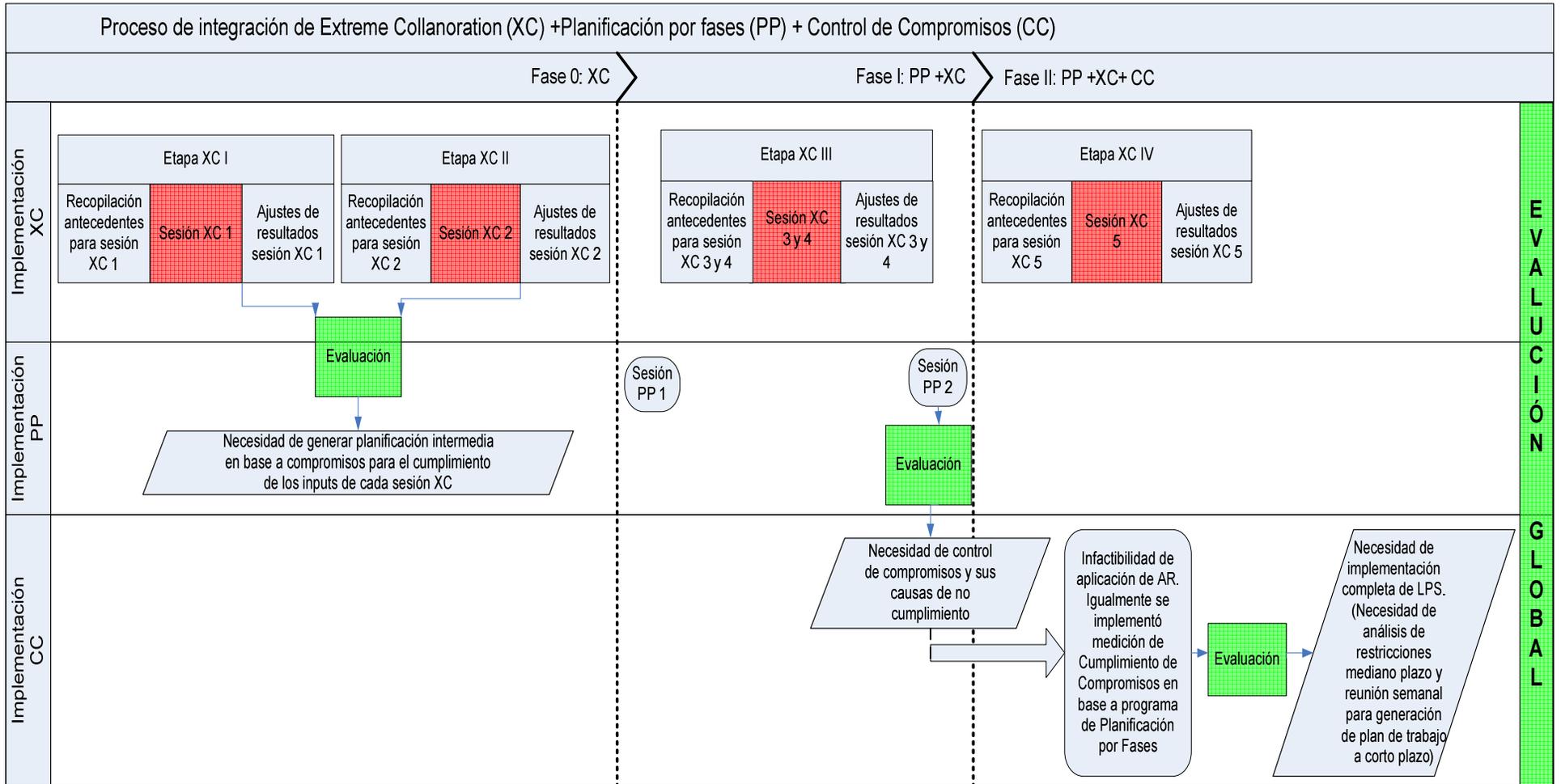


Figura 7-1: Proceso de implementación de MIGD en Caso de Estudio

7.2. Resultados Módulo Ejecución Integrada de Diseño: *Extreme Collaboration*

A partir de la sesión XC 3 se comenzó la aplicación de la encuesta de criterios de calidad de definición del trabajo. En el gráfico 7-1 se pueden comparar los resultados obtenidos para cada una de las sesiones durante la implementación de MIGD. El detalle de cada sesión se puede encontrar en el Anexo E.

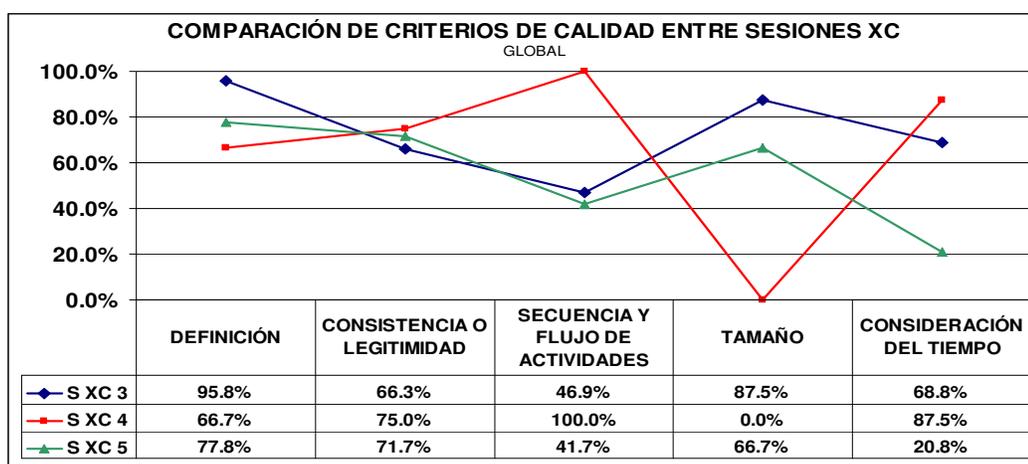


Gráfico 7-1: Comparación de resultados de sesiones XC 3, 4 y 5- Global

De acuerdo a estos resultados, los puntos más débiles dentro de la implementación son la definición del tamaño de las actividades a ejecutar, la consideración del tiempo durante la sesión y la secuencia del flujo de actividades durante la sesión XC. Estos son los puntos al que el equipo de trabajo debiera presentar más atención durante la planificación de la sesión XC en la sesión de planificación por fases y durante la ejecución de la sesión XC misma.

Al diferenciar estos resultados entre los profesionales del proyecto y los proveedores invitados a participar a las sesiones XC (Gráficos 7-2 y 7-3), se puede apreciar, que en general, la evaluación realizada por los proveedores tiende a ser menor

que la de los profesionales permanentes en el proyecto. Esto se debe principalmente a la poca continuidad de los proveedores a lo largo de todo el proceso de diseño. Primeramente, sólo participaban en las sesiones XC y además no siempre eran los mismos profesionales presentes. Esto produjo una menor comprensión de los objetivos, y en general, del trabajo a realizar durante las sesiones XC. A pesar de este sesgo en su evaluación, la tendencia de cuales son los puntos más débiles a reforzar, se mantiene en torno a la consideración del tiempo y secuencia y flujo de actividades.

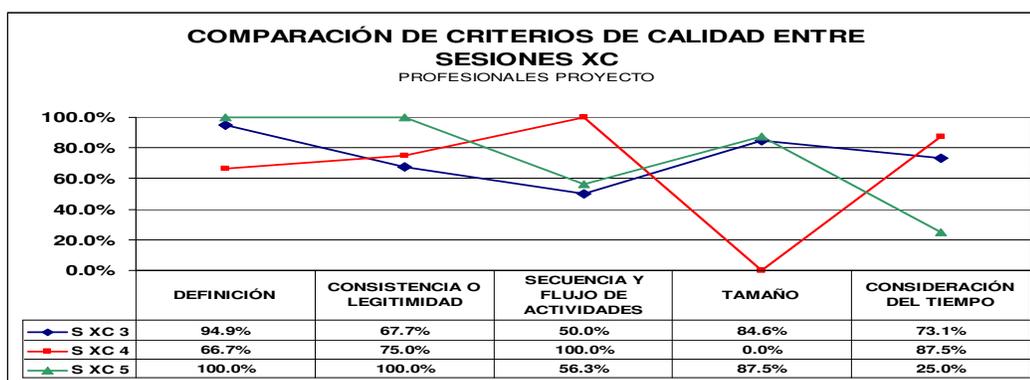


Gráfico 7-2: Comparación de resultados de sesiones XC 3, 4 y 5-Profesionales proyecto

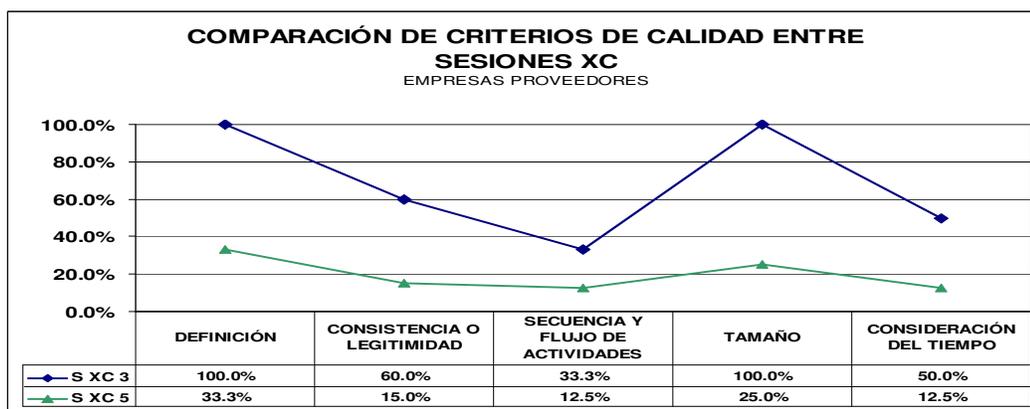


Gráfico 7-3: Comparación de resultados de sesiones XC 3, 4 y 5- Empresas proveedoras

Al evaluar cuales son las causas de no cumplimiento de objetivos de la sesiones XC de manera general, se obtiene el gráfico 7-4.

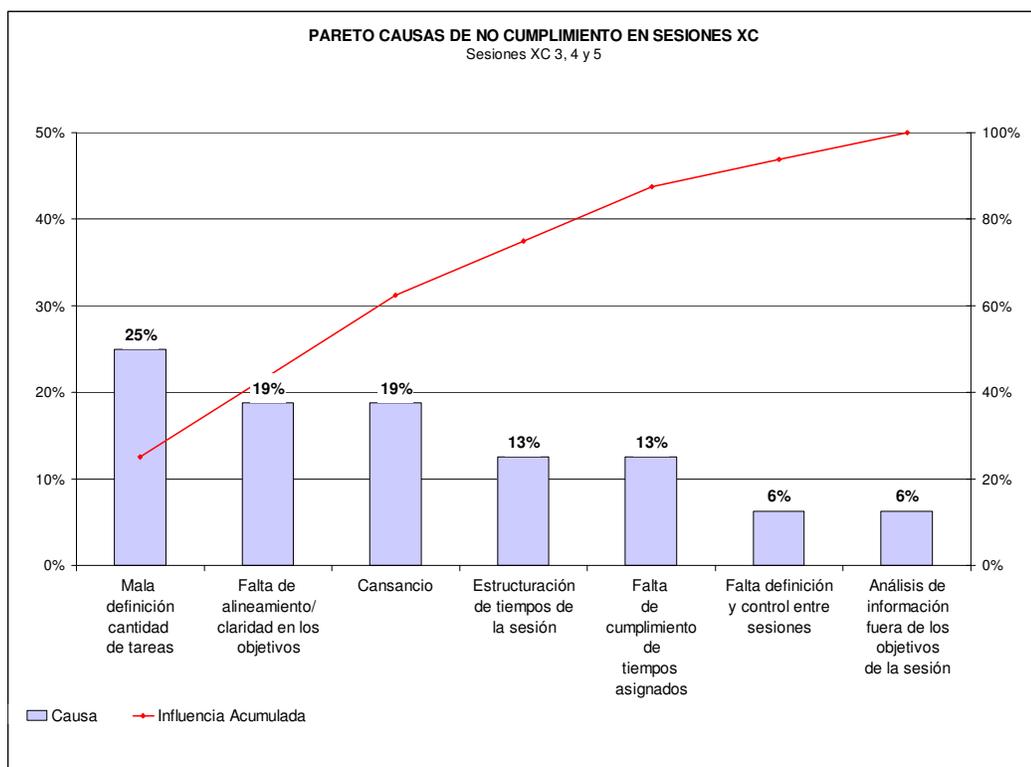


Gráfico 7-4: Análisis de Pareto de frecuencia de causas de no cumplimiento de sesiones XC 3, 4 y 5

De acuerdo al gráfico 7-4 las causas que representan un 80% de las causas de no cumplimiento de los objetivos son: mala definición de la cantidad de tareas, falta de alineamiento de los objetivos, cansancio y estructuración de tiempos de la sesión XC.

En el caso de la mala definición del tamaño de las tareas, se reafirma lo obtenido en el gráfico 7-1 (criterio definición). Es necesario, ser más realista al momento de determinar la cantidad de trabajo a efectuar durante la sesión XC, considerando que es una instancia de alto intercambio y negociación en términos de lo que es importante para cada involucrado. No es lo mismo efectuar tareas, cuando se tiene sólo la opinión de los

especialistas de un área (Ej. arquitectos) que cuando se deben considerar los criterios de todos los involucrados en el ciclo de vida del proyecto (calculistas, constructores, proveedores, entre otros). Por lo anterior se recomienda disminuir a un tercio las tareas que se creen razonables realizar en una sesión XC, en las primeras experiencias a desarrollar. Una vez que se tenga conocimiento de lo que realmente se es capaz de hacer se puede dejar de usar esta regla.

La falta de alineamiento de los objetivos se refiere a la necesidad que todo el equipo tenga claridad absoluta de los objetivos perseguidos en la sesión XC. En esta causa, la mayor frecuencia fue mencionada por empresarios y proveedores externos al equipo de trabajo permanente, mostrando la necesidad de hacer un mayor énfasis en cuáles son los objetivos de cada sesión en el momento de hacerlos participes de ésta, si es que ellos no han participado de las sesiones de planificación por fases del proyecto.

Por otra parte, el nivel de cansancio como causa principal se relaciona con el tamaño de las tareas a ejecutar y en el caso de estudio, especialmente porque la sesión XC 4 tuvo lugar sólo un par de horas después de la sesión XC 3, estando el equipo bastante cansado ya en el comienzo de ésta. A partir de esta experiencia, se puede concluir que el cansancio es un factor que se puede disminuir al definir en forma correcta el tamaño de las actividades a realizar y se recomienda nunca poner dos sesiones en un mismo día (una sesión XC en la mañana y otra en la tarde por ejemplo).

Finalmente la estructuración de los tiempos de la sesión se refiere a qué se distribuya el tiempo de trabajo de acuerdo a los objetivos y prioridades que se tienen en la sesión XC en cuestión. Si se requiere una sesión con mayor valor de intercambio de criterios, donde el enfoque sea obtener consensos y negociar ciertos aspectos, se debe otorgar más tiempo a las instancias de conversación grupal. Por otra parte, si el objetivo de la sesión apunta a obtener resultados en torno a la ejecución de soluciones de diseño, se debe priorizar el trabajo y entregar un mayor tiempo a esta actividad, limitando a lo

justo las instancias de negociación y toma de decisiones. Por lo anterior, es recomendable separar las instancias de negociación y definición de las de trabajo en distintas sesiones XC dentro de un mismo ciclo de sesiones XC.

7.3. Resultados Módulo de estructuración del trabajo: Planificación por fases

La planificación por fases se incorporó a la metodología de trabajo, debido a la necesidad de mejorar nivel de cumplimiento en las etapas previas y posteriores a la sesión XC. En el Anexo F se presentan esquemas que resumen las sesiones PP.

La realización de sesiones PP permitió al equipo determinar compromisos de mediano plazo y actividades claras, secuenciando el trabajo en forma integrada y coordinada con todas las especialidades e identificando las causas de no cumplimiento aún antes de la implementación del control de compromisos. Los compromisos asumidos en la sesión de planificación eran enlistados por cada responsable en una ficha de compromisos formal (ver Anexo F), la que posteriormente ubicaban en un lugar visible, generándose mayor consciencia de los compromisos y plazos asumidos. Adicionalmente, algunos de los integrantes del equipo manifestaron una mayor claridad en cuales eran las causas de su no cumplimiento, debido a esta mayor conciencia. Por otra parte, las sesiones PP facilitaron que el equipo completo se interiorizara de mejor forma con el plan maestro del proyecto, cuyo desconocimiento se observó como un problema recurrente.

En el gráfico 7-5 y tabla 7-1 se aprecia una comparación de causas de no cumplimiento antes y después de la implementación de PP en el caso de estudio (no se presentan mediciones de PPC pues están son posteriores a la segunda sesión PP). Como fue comentado anteriormente, uno de los principales problemas detectados para el cumplimiento de los objetivos de las sesiones XC fue el incumplimiento de *inputs* necesarios para las sesiones. Se puede apreciar, que posterior a la implementación de PP (sesiones XC 3, 4 y 5) existe una disminución significativa (de 19% al 6%) en la causa

“Falta definición y control entre sesiones”, que apunta a esta problemática expuesta. En otras palabras, la implementación de PP permitió que el equipo tuviera una mayor definición, claridad y control sobre las tareas que debía ejecutar previamente a las sesiones XC lo que facilitó el alcance de los objetivos planteados. Otro elemento que también es abordado mediante las sesiones de planificación es la mala definición de los participantes en la sesión XC, el cual se redujo a 0% en la etapa post-PP.

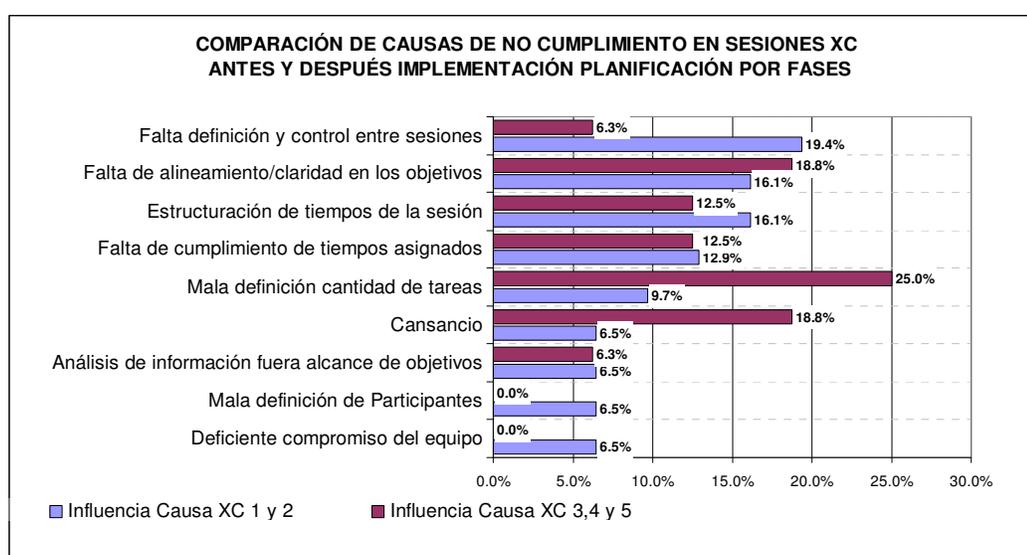


Gráfico 7-5: Comparación de Causas de no Cumplimiento en sesiones XC antes y después de implementación sesiones de Planificación por fases

Tabla 7-1: Comparación de CNC de objetivos de Sesiones XC antes y post PP

Comparación CNC antes PP y post PP		
Causa de no Cumplimiento de Objetivos Sesiones XC	Influencia Causa Sesiones XC 1 y 2	Influencia Causa Sesiones XC 3,4 y 5
Falta definición y control entre sesiones	19.4%	6.3%
Falta de alineamiento/claridad en los objetivos	16.1%	18.8%
Estructuración de tiempos de la sesión	16.1%	12.5%
Falta de cumplimiento de tiempos asignados	12.9%	12.5%
Mala definición cantidad de tareas	9.7%	25.0%
Cansancio	6.5%	18.8%
Análisis de información fuera alcance de objetivos	6.5%	6.3%
Mala definición de Participantes	6.5%	0.0%
Deficiente compromiso del equipo	6.5%	0.0%

Por otra parte, se puede apreciar que sólo en tres causas las sesiones XC post-PP superan a las sesiones XC pre-PP en porcentaje de incidencia: Cansancio (del 6,5% al 18,8%), Mala definición de tareas (del 9,7% al 25%) y Falta de alineamiento/claridad en los objetivos (de 16,1% a 18,8%). Estas tres causas coinciden con las de mayor incidencia post implementación PP y los factores que las generaron fueron previamente comentados en la sección 7.2 de este capítulo.

Además, a partir de la experiencia del caso de estudio, se observó que es necesario durante las sesiones PP efectuar una evaluación de la fase que se está cerrando, justo en el momento previo al desarrollo de la siguiente planificación. Esto con el fin de considerar las falencias y errores cometidos, evitándolos en la generación del nuevo programa, impulsando el mejoramiento continuo en la planificación.

Según lo observado en el proyecto piloto, si bien la estructuración del trabajo fue de alta utilidad (permitió alcanzar los objetivos de las sesiones XC, mejorando el desempeño del proyecto), el bajo cumplimiento de compromisos reafirmó la necesidad de establecer un plan de trabajo con responsables en el corto plazo (no sólo en el mediano plazo). Además, es indispensable hacer un análisis de restricciones para efectivamente hacer lo que se puede hacer. Por lo anterior, se corroboró la necesidad de instituir LPS en forma íntegra, por ser una herramienta que gestiona y controla los compromisos al corto plazo y evalúa las causas que generan el no cumplimiento de lo comprometido, buscando implementar acciones de mejoramiento. Los argumentos de esta afirmación son entregados en la sección 7.4 de este capítulo.

7.4. Resultados Módulo de Control de Producción: AR+PPC+CNC

El módulo de Control de Producción en base al análisis de restricciones y plan de trabajo de corto plazo y su posterior control, no pudo ser implementado en este estudio como tal. A pesar de esta situación se llevó un seguimiento del cumplimiento de los compromisos en las fechas establecidas en la sesión de planificación por fases. El

gráfico 7-6 muestra los resultados del nivel de cumplimiento de los compromisos asumidos en cada una de las sesiones de planificación. El nivel de cumplimiento medido es en promedio de un 16,8% para la fase 1 y un 10,5% para la fase 2.

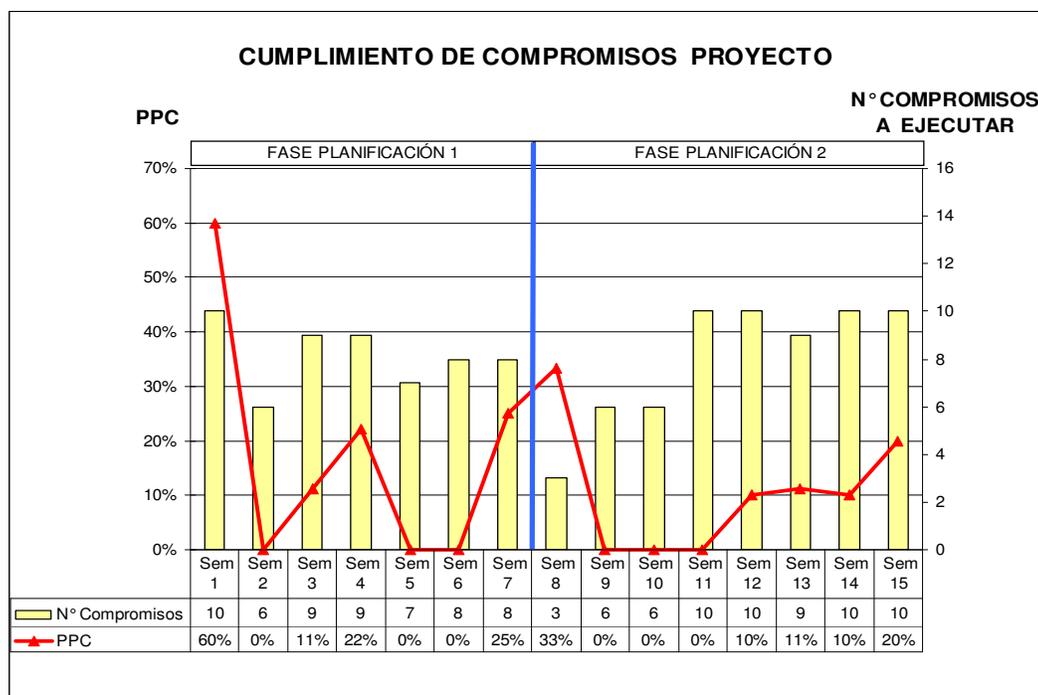


Gráfico 7-6: Seguimiento de Porcentaje de Plan Completado

Estos bajos resultados, a pesar de la mayor conciencia de la necesidad de cumplimiento de compromisos, se explican en los gráficos de Pareto de causas de no cumplimiento para ambas fases (Gráfico 7-7 y 7-8).

En el caso de la fase I, al hacer un análisis de cuales son las causas que representan el 80% de ellas, se observa que la principal es errores en la planificación, seguida muy por debajo por la falta de recursos. Los errores en planificación se produjeron debido a que no se contemplaron las iteraciones necesarias en el proceso de diseño en el período de ajuste de resultados de la etapa XC, mostrando el

desconocimiento o no existencia de un proceso establecido dentro del equipo para llevar a cabo esta actividad.

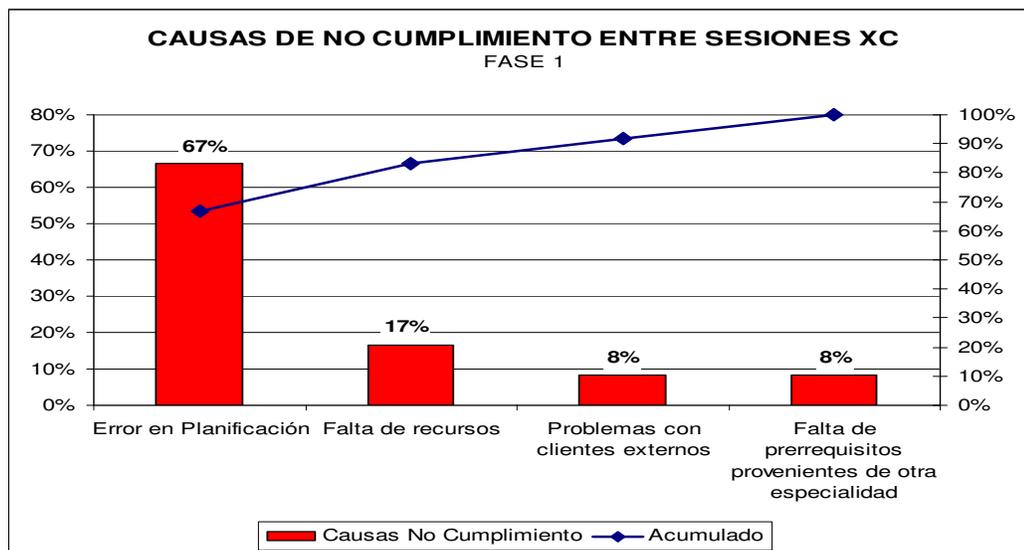


Gráfico 7-7: Pareto Causas de No Cumplimiento- Fase 1

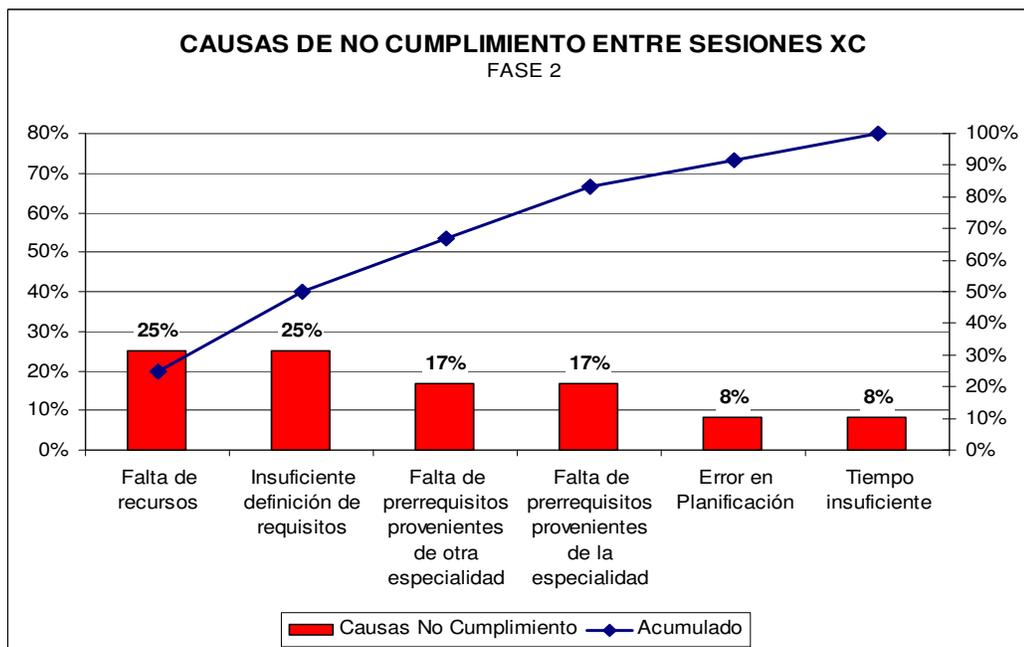


Gráfico 7-8: Pareto Causas de No Cumplimiento- Fase 2

En el caso de la fase 2, durante la sesión de planificación se rescataron las lecciones aprendidas a partir de estos errores de planificación, lo que implicó que se redujeran drásticamente los no cumplimientos a partir de esta causa (de un 67% a un 8%). Para esta fase, las causas principales de no cumplimientos son la falta de recursos, la indefinición de prerrequisitos y la falta de prerrequisitos. Estas causas se generan debido a que se intenta ejecutar lo que no se puede realizar, pues existen restricciones para hacerlo: “no tenemos los recursos necesarios, quienes deben hacerlo están ocupados en otra tarea” o “no tengo aún los legajos técnicos, los espero desde otra área”. Este tipo de no cumplimientos se pueden eliminar instaurando el resto de LPS: el análisis de restricciones y una re-planificación de las tareas de acuerdo a lo que realmente se puede ejecutar y no cortar el flujo de trabajo.

7.5. Resultados de la Integración

Al ir mostrando los resultados de cada uno de los módulos de MIGD, se puede ir viendo que existe una relación entre ellos, viéndose afectados los resultados frente a la ausencia de alguno. Tanto la implementación e integración de las tres herramientas generan beneficios diferentes a los que se podrían haber alcanzado si sólo se hubiera implementado uno de los módulos. En esta sección se presentan diagramas que resumen cada uno de los factores que, en cada herramienta, generan alguno de los resultados observados y recopilados del caso de estudio. Se pone especial énfasis en explicitar el valor de la integración de las herramientas.

En la Figura 7-2 se aprecian las acciones tomadas en torno a XC y el resultado que esta acción implica dentro de MIGD. En la Figura 7-3 se aprecian las acciones ejecutadas en torno a PP para XC y el resultado que esta acción implica dentro de MIGD. En la Figura 7-4 se aprecian las acciones que involucran la implementación e inclusión de AR+ Control de Compromisos (PPC+CNC) en MIGD y el resultado que esta acción implica dentro de MIGD.

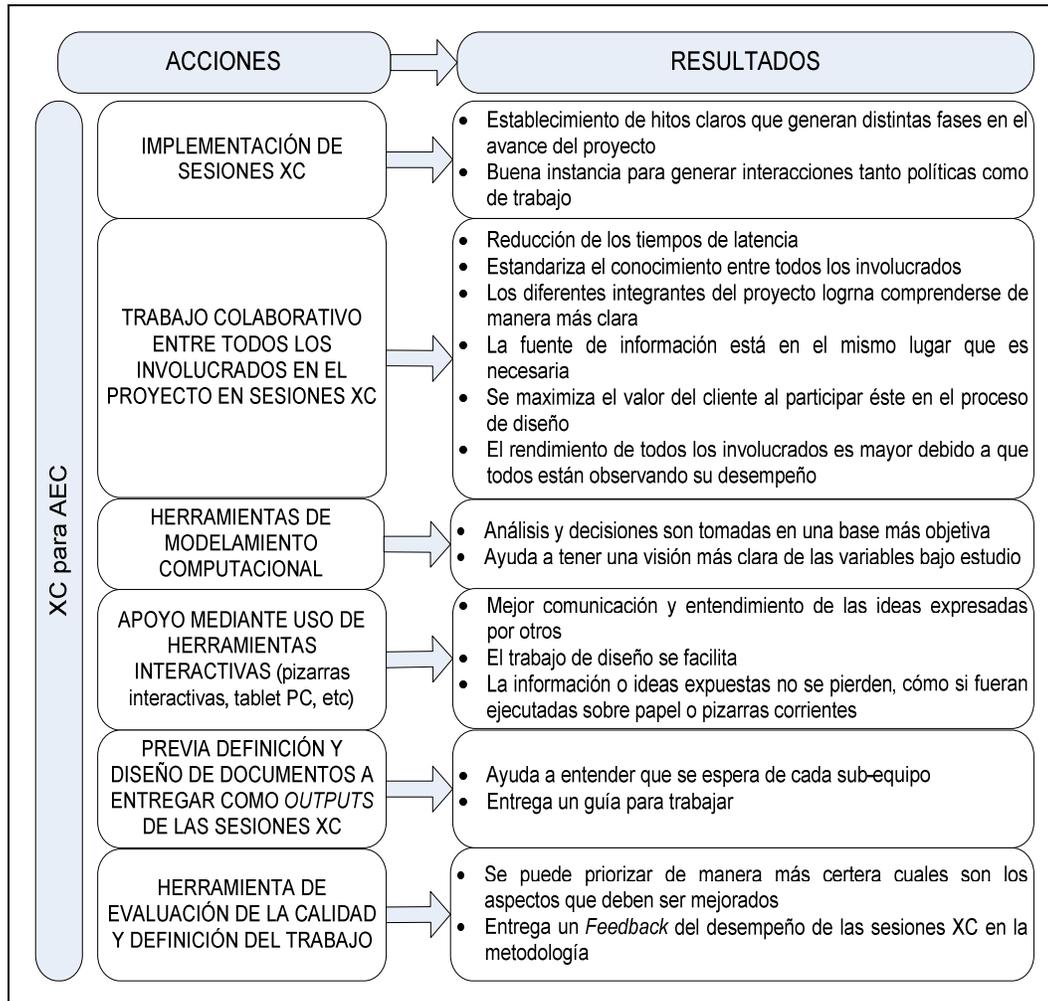


Figura 7-2: Diagrama Acción-Resultado de XC para AEC

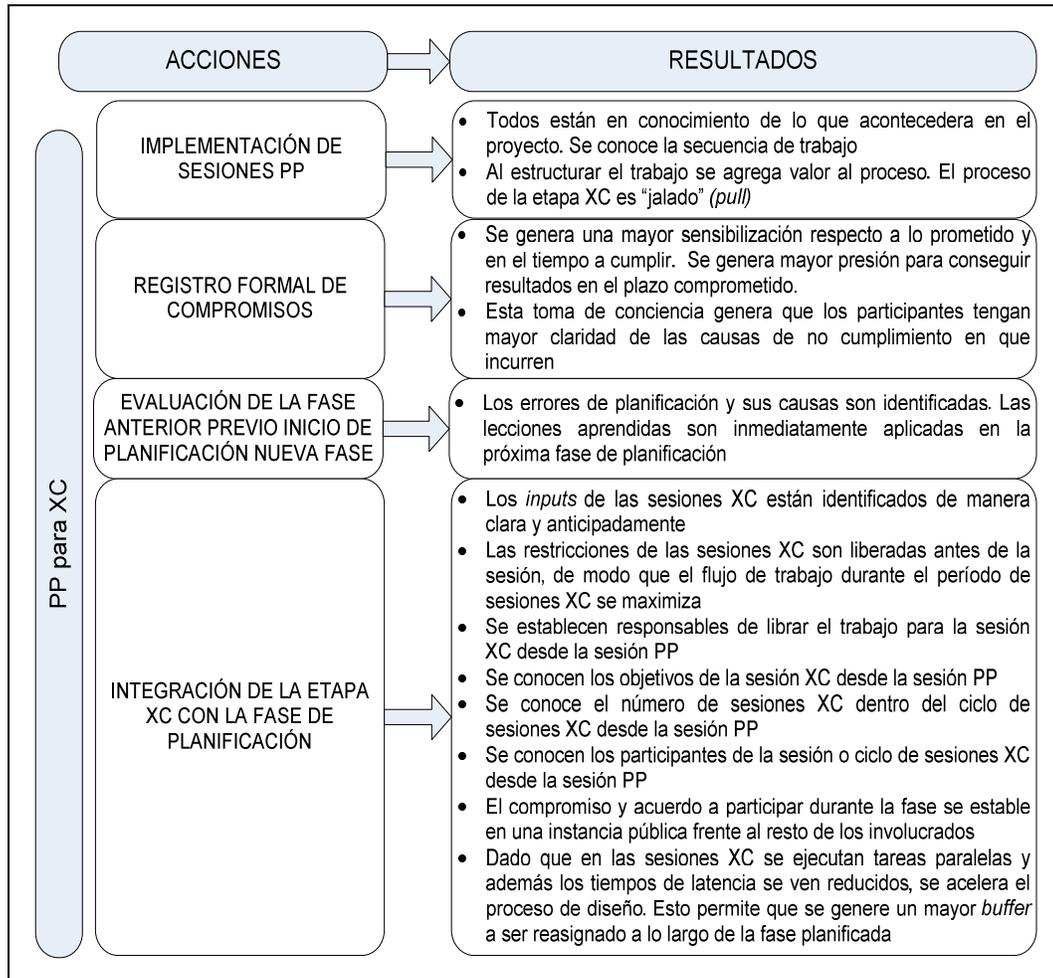


Figura 7-3: Diagrama Acción-Resultado de PP para XC

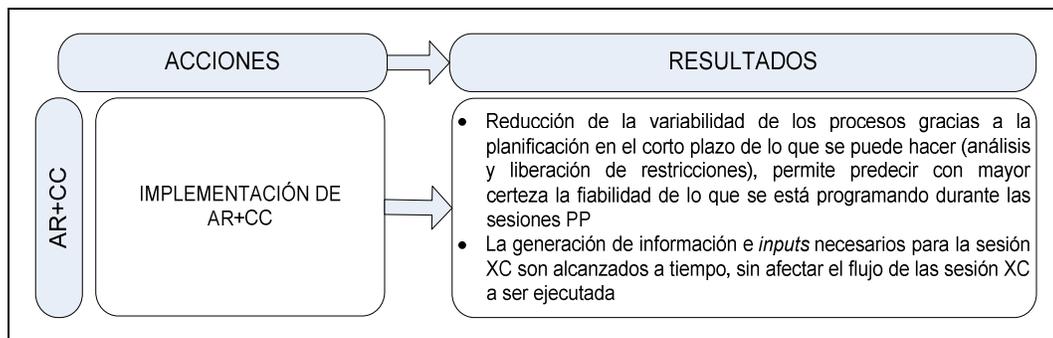


Figura 7-4: Diagrama Acción-Resultado para LPS

7.6. Resumen

En este capítulo se presentaron los resultados de la aplicación de MIGD en el caso de estudio: Resultados de la ejecución integrada de diseño por medio de XC, resultados del módulo de estructuración del trabajo por medio de PP y los resultados del módulo de control de producción (AR+CC).

De acuerdo a los resultados de la herramienta de medición de la calidad de la definición del trabajo, se pudo observar que en el caso de estudio los puntos más débiles fueron la definición del tamaño de las actividades a ejecutar, la consideración del tiempo durante la sesión y la secuencia del flujo de actividades durante la sesión XC. Por otra parte, al evaluar cuales son las causas de no cumplimiento de los objetivos de las sesiones XC se obtiene que el 80% de las causas de no cumplimiento de los objetivos son: mala definición de la cantidad de tareas, falta de alineamiento de los objetivos, cansancio y estructuración de tiempos de la sesión XC. Estas causas tienen directa relación con los aspectos peor evaluados en términos de la calidad de definición del trabajo. Se detalla además las circunstancias que motivaron estas causas de no cumplimiento.

La planificación por fases se incorporó a la metodología de trabajo, debido a la necesidad de mejorar el nivel de cumplimiento de compromisos en las etapas previas y posteriores a la sesión XC. Previa a la implementación de PP se observó que el no cumplimiento de *inputs* se producía principalmente por una falta de definición y control de las tareas a realizar en las etapas previas a las sesiones XC. Al hacer una comparación de causas de no cumplimiento antes y después de la implementación de PP en el caso de estudio se puede apreciar, que posterior a la implementación de PP (sesiones XC 3, 4 y 5) existe una disminución significativa (de 19% al 6%) en la causa “Falta definición y control entre sesiones”, que apunta a esta problemática expuesta. En otras palabras, la implementación de PP permitió que el equipo tuviera una mayor definición, claridad y

control sobre las tareas que debía ejecutar previamente a las sesiones XC lo que mejoró el nivel de cumplimiento de *inputs*, facilitando el alcance de los objetivos planteados.

A pesar que en caso de estudio el módulo de Control de Producción en base a el resto de los elementos de *Last Planner System*© no pudieron ser implementados como tal, se llevó un seguimiento del cumplimiento de los compromisos en las fechas establecidas en la sesión de planificación por fases. El nivel de cumplimiento medido fue en promedio de un 16,8% para la fase 1 y un 10,5% para la fase 2. Al evaluar las causas de no cumplimiento se observó que ellas principalmente se debían a que se intentaba ejecutar lo que no se podía realizar, pues existían restricciones para hacerlo. Si bien la estructuración de trabajo fue de alta utilidad, mejorando el desempeño del proyecto por medio del mayor alcance de los objetivos de las sesiones XC, el bajo cumplimiento de compromisos refirmó que es necesario establecer los compromisos en el corto plazo (no sólo en el mediano plazo). A su vez, las causas de no cumplimiento corroboran que es indispensable hacer un análisis de restricciones para efectivamente programar y hacer lo que sí se puede ejecutar.

Al ir mostrando los resultados de cada uno de los módulos de MIGD, se puede ir viendo que existe una la relación entre ellos, viéndose afectados los resultados frente a la ausencia de alguno de ellos. Tanto la implementación e integración de las tres herramientas generan beneficios diferentes a los que se podrían haber alcanzado si sólo se hubiera implementado uno de los módulos. Además de los resultados anteriormente mencionados, en este capítulo se presentaron tres diagramas que resumen los resultados medidos y observados a lo largo de todo el caso de estudio para cada herramienta de MIGD y su interacción con los otros módulos de la metodología. Se pone un especial énfasis en los resultados que se obtienen de la integración de cada uno de los módulos.

8. METODOLOGÍA DE VALIDACIÓN RESULTADOS DE LA INTEGRACIÓN: ANÁLISIS Y RESULTADOS

8.1. Introducción

En este capítulo se presentan las herramientas de validación para MIGD y sus respectivos resultados. Las herramientas de validación utilizadas fueron encuestas a dos grupos de análisis (equipo de caso de estudio y expertos externos en *Lean*) y un *focus group* con la participación de ambos grupos para enfrentar la visión teórica con la práctica en torno a MIGD.

En total, se aplicaron tres encuestas: una general con respecto a MIGD aplicada a ambos grupos (expertos y participantes del caso de estudio) basada en afirmaciones en torno a MIGD. Estas afirmaciones fueron originadas a partir de la teoría y de las observaciones hechas durante el caso de estudio. Estos enunciados, a su vez, fueron la base de la discusión del *Focus Group* realizado. Una segunda encuesta aplicada al equipo de trabajo del proyecto, donde se busca comparar un proyecto previo de este equipo bajo una metodología tradicional de trabajo y el proyecto piloto utilizando MIGD. Finalmente una tercera encuesta exclusiva para expertos en temas *Lean*, con el objetivo de validar la metodología en torno a esta filosofía.

8.2. Herramientas de Validación

Las herramientas de validación utilizadas fueron encuestas a dos grupos de análisis: equipo de caso de estudio y expertos externos en temas *Lean*, y un *focus Group* con la participación de ambos para enfrentar la visión teórica con la práctica en torno a MIGD. Tanto el *focus group* como las encuestas, fueron basadas en un mismo set de afirmaciones en torno a MIGD, con origen tanto en la teoría como en las observaciones hechas durante el caso de estudio. Estas afirmaciones han sido comentadas a largo de los capítulos previos de este documento.

8.2.1. Encuesta General sobre MIGD

La Encuesta General sobre MIGD, tiene como objetivo validar tanto con expertos como con los participantes del caso de estudio, distintas afirmaciones generadas a partir de la teoría y lo observado en el proyecto, en torno a las distintas herramientas de MIGD y su integración. Esta consta de tres ítems, uno enfocado a afirmaciones generales sobre MIGD, otro enfocado a evaluar XC y un tercero para evaluar los módulos de planificación y control (LPS con sus diferentes elementos). En el Anexo G se puede encontrar la encuesta aplicada.

8.2.2. Encuesta Comparativa Caso Estudio versus Proyecto Anterior

La Encuesta Comparativa del Caso de Estudio versus un Proyecto Anterior ejecutado por el mismo equipo de trabajo, tiene como objetivo ver las potenciales diferencias en la utilización de MIGD versus una forma tradicional de trabajo. En esta encuesta se busca evaluar el nivel de los resultados de diseño, equipo y planificación, además de evaluar si el equipo usaría nuevamente la metodología en un proyecto futuro. También contiene un espacio en donde los encuestados pueden manifestar su opinión personal con respecto a MIGD. En el Anexo G se puede encontrar la encuesta aplicada.

8.2.3. Herramienta de evaluación de expertos

La encuesta de evaluación de expertos, busca recopilar la opinión de expertos con respecto a afirmaciones teóricas en torno a MIGD y la filosofía *Lean* planteadas previamente en la sección 6.3 de este documento. En el Anexo G se puede encontrar la encuesta aplicada.

8.3. Resultados Herramientas de Validación

En esta sección se presentan los resultados obtenidos en cada una de las herramientas de validación. Por un lado, se presentan los aspectos más relevantes abarcados en el *Focus Group* con expertos en las herramientas y filosofía *Lean* y

participantes del proyecto. Por otra parte, se presentan los resultados de las tres encuestas aplicadas. Los resultados detallados de las encuestas se presentan en tablas que contienen⁵:

1. Las afirmaciones o campos a ser evaluados.
2. Grupo encuestado: Profesionales proyecto, Expertos *Lean*.
3. Valor Asignado: Para facilitar el análisis de los resultados de las encuestas, a cada alternativa de respuesta se le asignó un valor que permite calcular posteriormente un promedio ponderado de cada grupo. En la tabla 8-1 se presentan las alternativas de respuestas con sus respectivos valores asociados.

Tabla 8-1: Alternativas de Respuesta vs. Valor Asignado

Alternativas de Respuesta I	Valor Asignado
Completamente en desacuerdo	-2
En desacuerdo	-1
Ni en acuerdo ni en desacuerdo	0
De acuerdo	1
Completamente de acuerdo	2
No Responde o No pertinente	0
Alternativas de Respuesta II	Valor Asignado
Muy Bueno	3
Bueno	2
Suficiente	1
Insuficiente	-1
No pertinente	0

4. Frecuencia de respuestas para cada grupo encuestado.
5. Promedio ponderado de respuesta de cada grupo (en caso de tablas de resumen este campo fue llamado “Puntaje”):

⁵ La metodología de validación de los resultados de las encuestas, está basada en el método utilizado en la tesis doctoral: “Desarrollo e Implementación de un Modelo de Gestión de la I+D+i para las Empresas Constructoras Basado en la Norma UNE 166002”, Christian Luis Correo Becerra, Universidad Politécnica de Valencia, Marzo 2009.

Ecuación 8-1: Promedio

$$\frac{\sum_i \text{Frecuencia de respuesta}_i \times \text{Valor asignado}_i}{\text{Total Encuestados por grupo}}$$

6. Nivel de aceptación: Este indicador depende del promedio ponderado y de límites fijados para el grado de validez de la afirmación. Los rangos sobre el valor promedio fueron generados para señalar cuando una afirmación es (entre paréntesis el nombre del nivel de aceptación asociado en las tablas): fuertemente aceptada (Fuerte), Aceptablemente Aceptada (Aceptable), Débilmente Aceptada (Débil) o Rechazada (Ningún Apoyo).

Para las alternativas de respuesta I (Tabla 8-1), los rangos son los siguientes:

- Fuertemente Aceptada: $X > 1,5$
- Aceptablemente Aceptada : $0,5 < X \leq 1,5$
- Débilmente Aceptada: $0 < X \leq 0,5$
- Rechazada : $X \leq 0$

Para las alternativas de respuesta II (Tabla 8-1), los rangos son los siguientes:

- Fuertemente Aceptada: $X \geq 2,0$
- Aceptablemente Aceptada : $1,0 \leq X < 2,0$
- Débilmente Aceptada: $0 \leq X < 1,0$
- Rechazada : $X < 0$

7. Promedio y Valor Asignado Total (ambos grupos) en el caso de la Encuesta Generales sobre MIGD.

En esta sección sólo se presentan tablas resumen que contienen los puntos 1, 2, 5, 6 y 7. Para ver mayor detalle de las respuestas dirigirse al Anexo H.

8.3.1. Comentarios generales en Focus Group

Contextualización de concepción de MIGD

Antes de hacer un análisis y evaluación de MIGD y los resultados obtenidos en su aplicación en el caso de estudio comentados durante el *Focus Group* de validación, se debe recordar que este estudio fue concebido como una investigación en torno a cómo se podía implementar *Extreme Collaboration* en equipos de ingeniería. La concepción original de XC de la NASA, muestra una forma de trabajo intensivo, en donde no existe espacio entre una sesión y otra. El objetivo es generar la ingeniería del proyecto en cuestión, trabajando en un ambiente común, con apoyo de tecnologías de la información, todo esto de manera permanente. El equipo de la NASA de XC (*Team-X*) es un equipo multidisciplinario consolidado que acostumbra a trabajar bajo esta modalidad y sólo tiene la misión de terminar el proyecto en desarrollo. Los puntos anteriores son bastantes divergentes a las condiciones en que se usa XC en MIGD. Primeramente, la Metodología Integrada de Gestión de Diseño nace para implementar esta forma de colaboración intensiva en equipos que no acostumbran a trabajar bajo cánones de colaboración. Considerando esta condición, no se puede aspirar a que los equipos en que se implementen XC logren trabajar bajo un régimen continuo de colaboración desde el mismo comienzo de la implementación, siendo necesario generar un mecanismo de aprendizaje que permita la transición entre una forma tradicional de trabajo y el trabajo colaborativo. En segundo lugar, dado que en la Industria de la Ingeniería en general, se trabaja de manera *multi-tasking* (varios proyectos a la vez) es de mayor dificultad implementar XC en su concepción original, aun mas, si los equipos de cada proyecto en la cartera de un profesional, involucran distintos profesionales de un área y otra, no habiendo una intersección entre ellos, dificultando su consolidación como equipo de trabajo. Por otra parte, el equipo multidisciplinario de la NASA pertenece a una misma organización, no presentándose necesariamente esta condición en la Industria de la

Ingeniería, en donde puede haber diversos contratistas e instituciones involucradas en un mismo proyecto. Además el cliente o mandante, tampoco tiene la disponibilidad exclusiva al proyecto que está solicitando, pues su negocio suele ser más amplio que un sólo proyecto de ingeniería. Dadas estas condiciones se generó el concepto de sesiones XC como sesiones de trabajo distanciadas, forjándose bajo este formato, la necesidad de planificar y controlar los períodos previos y entre sesiones. Es importante destacar que, no siempre se tendrá al equipo ideal para XC (el *Team-X* de la NASA) sino que se tendrán muchas veces equipos nuevos que necesitan de la ayuda de la planificación y control para despejar la pista para poder correr rápido, por medio de las sesiones XC. La analogía es que el desarrollo del proyecto es una pista de alta velocidad, pero para que se pueda correr en alta velocidad no tienen que haber obstáculos en la pista, tiene que estar despejada. El símil de esto, es decir: “tengo que tener todos los requisitos previos para poder correr así, lo que implica tener los compromisos cumplidos y las tareas previas hechas para poder lograrlo”. Entonces en MIGD, hay una adaptación e integración de conceptos para alcanzar el objetivo de correr a gran velocidad en el desarrollo de la Ingeniería, especialmente en sus etapas de desarrollo conceptual y diseño.

Impresiones de XC en MIGD: beneficios y recomendaciones para una efectiva implementación

De acuerdo a los integrantes del equipo del caso de estudio, asistentes al *Focus Group*, las sesiones XC cumplieron ampliamente sus expectativas de acelerar el proceso de diseño. Si bien, opinan que existieron dificultades que se pueden mejorar, su aprobación es alta con respecto a los resultados obtenidos y la mayor velocidad en su generación usando las sesiones XC.

De acuerdo a los expertos en metodologías *Lean* es importante, en primer lugar, diferenciar entre XC de la NASA y la adaptación de XC en MIGD, de acuerdo a los

factores discutidos en el punto anterior, para entender el origen de la necesidad de implementar las metodologías de planificación y control.

Uno de los valores que más se destacaron de MIGD es que por medio de XC, se logra que efectivamente el equipo alcance los objetivos solicitados en el plazo establecido. Es conocido, que en ocasiones ocurre, que frente a las peticiones de ciertas tareas, con un plazo anticipadamente definido, su ejecución se termina postergando hasta el último momento y no siempre llegando al valor deseado y en el plazo solicitado. XC toma valor en este sentido, pues en términos de obtener resultados, estos se alcanzan aquí y ahora, en conjunto con quien los solicita, y sabiendo que uno tiene que salir de esa instancia con resultados y no con una planificación de “voy a hacer tal cosa para un tiempo no tan cercano”. Entonces, con la aplicación de XC se ayuda mucho a formalizar el trabajo, facilitando además la función de los superiores a cargo del proyecto, pues los resultados ya no dependen de qué tan sistemáticos sean ellos, en el poder incentivar la obtención de resultados en cada uno de los proyectos que tienen a cargo.

Por último, se destaca el beneficio que XC representa para la gestión del conocimiento dentro de una organización, pues si sentamos a todos los “cerebros” de ésta, sabemos que el grueso de las decisiones que serán tomadas ahí, serán las correctas y eso permite disminuir las iteraciones dentro del trabajo posterior, lo que convierte a XC en una herramienta para la gestión del conocimiento muy fuerte dentro de la empresa.

Dentro de los puntos a mejorar dentro de la metodología es la gestión del conocimiento entre sesiones. Primeramente, en el sentido de hacer llegar el conocimiento, decisiones y avances generados durante las sesiones XC a aquellos que no participaron de la sesión o de aquellos que se incorporaban de manera posterior al desarrollo del proyecto. En el caso piloto, se usaron presentaciones a modo de resumen al inicio de la sesión XC misma. Esta es una práctica que no se recomienda en futuras

implementaciones, pues, se pierde tiempo para el trabajo mismo de la sesión, provocando cansancio y desagrado innecesario en aquellos participantes que conocen claramente el trabajo realizado previamente.

Planificación y control de producción: beneficios y recomendaciones para una efectiva implementación

De acuerdo a los integrantes del equipo del caso de estudio, asistentes al *Focus Group*, la aplicación de la Planificación por Fases fue beneficiosa para el equipo de trabajo, pues les permitía tener una visión más clara de lo que venía adelante en el proyecto, exigiéndoles compromiso con sus tareas, ordenándolos en su ejecución y organizando el trabajo de todos. Si bien, en un comienzo no se planificó de manera adecuada, la experiencia sirvió para empezar a reconocer el proceso de trabajo más apropiado, sacando las lecciones para las siguientes sesiones de planificación. Los bajos resultados de cumplimiento obtenidos, son justificados por la existencia de compromisos en otros proyectos con una mayor prioridad, generándose una menor dedicación de tiempo de la necesaria a los compromisos asumidos en el proyecto.

Si se piensa en la concepción de la planificación por fases, esta exige que quienes planifican conozcan claramente sus procesos y los plazos que les tomará cumplir esos compromisos, en consideración del real tiempo con que cuentan para su ejecución. Sólo bajo estas consideraciones se puede esperar sus niveles de cumplimiento posteriores sean los adecuados, pues se ha secuenciado de manera correcta el valor a generar y en los plazos realmente factible. A partir de la problemática presentada en el caso de estudio, con respecto a la consideración del tiempo real para ejecutar las tareas a comprometer, los expertos aconsejaron, que en el caso de tener los profesionales una cartera de varios proyectos a cargo, la planificación y su posterior control por medio de LPS debe ser a nivel de multi-proyecto. Esto para obtener mayor precisión en la

planificación efectuada, al tener un escenario mucho más real de los tiempos disponibles y las tareas a desarrollar de manera global en el período evaluado.

Por otra parte, frente al nivel de cumplimiento de compromisos, los expertos comentaron, que de acuerdo a su experiencia en implementaciones de *Last Planner System* en la etapa de diseño, es bastante común que en proyectos de ingeniería, en un comienzo exista un descontrol total con respecto al cumplimiento de las tareas en un plazo establecido, pero destacan que con el sólo hecho de empezar a controlar y hacer un análisis de restricciones adecuado, la tendencia cambia de manera impresionante en términos de cumplimiento y compromiso de los profesionales, así también como su nivel de eficiencia. De acuerdo a su opinión, al tratar de levantar restricciones se comienza recién a identificar cual es el real proceso y a donde se puede “ir” para liberar la restricción (necesito hablar con, hacer tal, etc). La planificación en el mediano plazo sirve para tener una guía e idea de adonde se está yendo, pero no queda explicitado el plan de ejecución, el cómo realmente lograr que las cosas sucedan, es decir, no se identifica el flujo “funcional” de la organización. Identificar ese flujo funcional - como el día a día opera- es a lo que ayuda LPS. Por lo anterior, se reafirma que la aplicación de sesiones de planificación necesariamente debe ir acompañada de la posterior aplicación de AR+CC, para lograr efectivamente ejecutar lo acordado.

Uno de los mayores desafíos en la implementación de LPS, de acuerdo a los expertos, es rescatar el aprendizaje adquirido mediante una correcta identificación de las causas de no cumplimiento, y que además, este aprendizaje se traduzca finalmente en acciones de mejoramiento en la forma de trabajar de los profesionales. Lo anterior, es un punto que realmente consideran un desafío no menor y que es indispensable para lograr el objetivo de la herramienta: lograr cada vez un proceso más y más limpio.

8.3.2. Resultados Encuesta General sobre MIGD

Esta encuesta fue aplicada a un total de 14 personas: 8 participantes del caso de estudio y 6 expertos consultores de la Industria. En las tablas 8-2, 8-3 y 8-4 se muestran los resultados de cada uno de los módulos incluidos en esta evaluación: 1) Apreciaciones Generales sobre MIGD, 2) Planificación y Control y 3) Ejecución de Diseño, respectivamente.

En general las afirmaciones son evaluadas como aceptadas, habiendo excepciones evaluadas como fuertemente aceptadas y en un sólo caso con una aprobación débil. Dentro del grupo de expertos las apreciaciones fuertemente aceptadas son de mayor número que en el grupo de participantes del caso piloto. Esta diferencia se explica a partir de los puntos de vistas distintos que tienen cada uno de estos sectores. Por un lado, los participantes del proyecto evalúan MIGD a partir de su experiencia en el caso piloto, que no refleja necesariamente el potencial de la metodología por limitaciones implícitas al tipo de proyecto en cuestión (Investigación). Además existe un proceso de aprendizaje que involucra cambiar desde un régimen de trabajo a otro, que requiere de ajustes por parte del equipo que no se presentaron en todos los participantes y finalmente el mismo hecho de ser la primera experiencia de implementación hace que los resultados alcanzados sean eventualmente menores a los que se pueden obtener en siguientes implementaciones, cuando ya se conocen cuales pueden ser las mejores prácticas para la implementación de MIGD. En el caso de los expertos, ellos tienen una visión más global de cuáles son los factores que hacen de MIGD una solución para las problemáticas de la Industria y cuáles son las posibles limitaciones o aspectos a cuidar al momento de implementar metodologías *Lean* en general, dada sus experiencias de asesoría en diversas empresas de la Industria.

De acuerdo a los resultados presentados en la tabla 8-2 MIGD es una metodología que se adapta a las necesidades de la Industria de Ingeniería, siendo una solución que permite optimizar tanto el proceso de diseño como las soluciones

generadas a partir de éste. Uno de los puntos que podría ser de mayor complicación en la implementación es lograr la participación activa de mandantes y contratistas en el proceso. Conforme a los encuestados esto es algo factible, pero para lograrlo, el deseo de participación activa debe venir desde la necesidad de involucramiento desde el mandante mismo. Incluso se deberían alcanzar mejores resultados si es éste quien solicita la utilización de MIGD dentro del desarrollo del proyecto a nivel contractual. Según los expertos, es de alta importancia la participación del mandante y los contratistas en el proceso de diseño para la obtención de mejores resultados en términos de valor y constructabilidad.

Tabla 8-2: Resumen de Resultados Encuesta General sobre MIGD – Apreciaciones Generales

AFIRMACIONES		PROFESIONALES CASO DE ESTUDIO		EXPERTOS		TOTAL	
		PUNTAJE	NIVEL DE ACEPTACIÓN	PUNTAJE	NIVEL DE ACEPTACIÓN	PUNTAJE	NIVEL DE ACEPTACIÓN
I. Apreciaciones Generales Metodología Integrada de Gestión de Diseño							
1	Esta metodología se adapta a las necesidades de la industria en la etapa de diseño	0.8	ACEPTABLE	1.2	ACEPTABLE	0.9	ACEPTABLE
2	La participación activa de mandantes y contratistas en el diseño es factible	1.0	ACEPTABLE	1.0	ACEPTABLE	1.0	ACEPTABLE
3	La integración de mandante y contratistas al proceso de diseño permite alcanzar resultados de mayor calidad y constructabilidad	1.4	ACEPTABLE	1.7	FUERTE	1.5	ACEPTABLE
4	MIGD permite gestionar y optimizar tanto el proceso de diseño como sus soluciones	0.6	ACEPTABLE	0.8	ACEPTABLE	0.7	ACEPTABLE

En la tabla 8-3 se presenta la opinión de los encuestados con respecto a los módulos de planificación y control de producción. Dentro de las afirmaciones evaluadas, la que tuvo mayor aceptación es la que refleja la necesidad de controlar los compromisos planificados. Hay que recordar que en el Caso Piloto, no fue implementado LPS en su totalidad, siendo esta afirmación la confirmación de la

necesidad de su implementación e incorporación íntegra en la aplicación de metodología diseñada (no basta solamente con PP).

En general, los expertos evalúan de mejor manera las afirmaciones que los participantes del caso de estudio. De acuerdo a estas evaluaciones, el grupo encuestado cree que es factible instaurar dentro de la forma de trabajo, sesiones de planificación donde interactúen todos los involucrados del proyecto: mandante, diseñadores, calculistas, constructores, proveedores, etc. Gracias a estas sesiones de planificación es posible tener mayor claridad de las tareas del plan maestro en el mediano plazo, entender mejor el trabajo del equipo completo (no sólo de la especialidad o área propia) y cómo los compromisos establecidos pueden afectar el trabajo del resto, mejorando así, las relaciones dentro del equipo de trabajo, gracias a un mayor entendimiento mutuo.

Tabla 8-3: Resumen de Resultados Encuesta General sobre MIGD – Planificación y Control

AFIRMACIONES		PROFESIONALES CASO DE ESTUDIO		EXPERTOS		TOTAL	
		PUNTAJE	NIVEL DE ACEPTACIÓN	PUNTAJE	NIVEL DE ACEPTACIÓN	PUNTAJE	NIVEL DE ACEPTACIÓN
II. Planificación Mediano-Corto Plazo y su Control : Last Planner System (PP+AC+CC)							
1	La planificación en base a compromisos mejora el desempeño del proyecto	0.9	ACEPTABLE	1.7	FUERTE	1.2	ACEPTABLE
2	La planificación en equipo en base a compromisos mejora las relaciones dentro del equipo de trabajo	0.8	ACEPTABLE	1.0	ACEPTABLE	0.9	ACEPTABLE
3	La planificación en fases ayuda a tener una visión más clara de las tareas en el mediano plazo	1.3	ACEPTABLE	1.8	FUERTE	1.5	ACEPTABLE
4	Las sesiones de planificación por fases ayudan a asimilar mejor el plan maestro del proyecto.	0.9	ACEPTABLE	2.0	FUERTE	1.4	ACEPTABLE
5	En una organización se pueden instaurar sesiones de planificación por fases, cada 2-3 meses, donde participen activamente contratistas, proveedores y mandante (si es requerido)	0.9	ACEPTABLE	1.2	ACEPTABLE	1.0	ACEPTABLE
6	La planificación por fases ayuda a entender mejor el trabajo del resto del equipo, y cómo mi trabajo influye sobre ellos	1.3	ACEPTABLE	1.3	ACEPTABLE	1.3	ACEPTABLE
7	No sólo es necesario establecer los compromisos en el corto plazo, es indispensable su control de cumplimiento y posterior evaluación, analizando las causas que generan el no cumplimiento	1.6	FUERTE	2.0	FUERTE	1.8	FUERTE

Por último en la tabla 8-4 se presentan los resultados del último ítem de la encuesta asociado a la ejecución misma del diseño por medio de trabajo colaborativo en las sesiones XC. De acuerdo a los resultados de las cuatro primeras afirmaciones, confirman que XC, incluso implementada de una forma alternativa a la de la NASA, produce un aceleramiento en el proceso de transformación del diseño. Este aceleramiento se produce, primeramente por el mayor nivel de interacciones e iteraciones que se producen en una sesión XC versus la forma tradicional de trabajo. Además se confirma la necesidad de tener la pista sin obstáculos para poder correr rápido. Teniendo la pista despejada y gracias a la mayor aceleración del trabajo producido por la mayor cantidad de las iteraciones e interacciones, es posible alcanzar los mismos resultados en menos tiempo, reflejándose de esta manera la aceleración del proceso completo de diseño.

Además, dentro de los resultados de esta encuesta, se pone en manifiesto que la mayor interacción entre distintas especialidades, con el mandante y con todos los involucrados del proyecto favorece la obtención de resultados de mayor calidad y constructabilidad, dado por un mayor entendimiento del valor para el cliente y a partir de ahí, del valor para cada una de las áreas y especialidades involucradas. Esta misma interacción genera mejores relaciones dentro del equipo dado el mayor conocimiento y entendimiento mutuo, conllevando una estandarización en el conocimiento de todos en torno al trabajo realizado.

La afirmación peor evaluada de esta encuesta, aprobada de manera débil, es la que confirma que efectivamente es factible sesionar 3-4 horas cada dos semanas. Este resultado se debe principalmente a la evaluación de los participantes del caso de estudio, que evaluaron este aspecto considerando su realidad en términos del tiempo disponible para sesionar bajo esta metodología. Pero al evaluar el resultado de la afirmación que dice que el distanciamiento de las sesiones produce olvido del trabajo ya realizado, se aprecia que tiene un nivel aceptable de aceptación dentro de este mismo grupo. Bajo

estos resultados, se mantiene la recomendación de no distanciarse en más de dos semanas cada una de las sesiones, siendo altamente recomendable que este distanciamiento no se prolongue más allá de una semana, si esto fuera posible. No hay que olvidar que la meta en términos de la utilización de XC como método de trabajo, es llegar al régimen de trabajo que tiene la NASA, en que sólo existe una etapa previa, un gran ciclo continuo de sesiones XC, para finalmente dar unos pequeños toques al diseño por medio de la manera tradicional de trabajo.

Con respecto al uso de tecnologías de la información, se afirma que las herramientas interactivas, así como soporte en gestión de documentos y el uso de modelamiento, colaboran a alcanzar mejores resultados, facilitando la visualización, el procesamiento y la administración de documentos, así como también la toma de decisiones más objetivas.

Un aspecto que es relevante destacar, es la necesidad de establecer en forma muy exacta y exhaustiva los *outputs* a ser entregados por cada uno de los sub-equipos de trabajo dentro de las sesiones XC. No es suficiente con establecer los objetivos, sino que es necesario detallar una lista de entregables, con responsables asignados para que hagan entrega de los resultados alcanzados al final de la sesión XC. Esto ayuda a que el equipo tenga mayor claridad de lo que se espera de ellos durante la sesión XC. Además, cuando no existe costumbre de trabajar de manera intensiva en sesiones colaborativas, los miembros del equipo no tienen claridad por donde comenzar o qué efectivamente hacer, siendo esta lista con *outputs* claramente definidos de gran ayuda.

Finalmente, al implementar las sesiones XC como es postulado en MIGD, éstas se transforman en hitos claros, que ayudan a ordenar el proceso de diseño, el cual muchas veces es difícil de establecer y reconocer.

Tabla 8-4: Resumen de Resultados Encuesta General sobre MIGD – Ejecución de Diseño

AFIRMACIONES		PROFESIONALES CASO DE ESTUDIO		EXPERTOS		TOTAL	
		PUNTAJE	NIVEL DE ACEPTACIÓN	PUNTAJE	NIVEL DE ACEPTACIÓN	PUNTAJE	NIVEL DE ACEPTACIÓN
III. Ejecución Diseño: Extreme Collaboration							
1	El cumplimiento de objetivos de diseño en un tiempo menor al normalmente empleado implica una aceleración de este proceso	0.6	ACEPTABLE	0.7	ACEPTABLE	0.6	ACEPTABLE
2	XC acelera el proceso de diseño versus un proceso tradicional de trabajo	0.8	ACEPTABLE	1.2	ACEPTABLE	0.9	ACEPTABLE
3	Los tiempos de respuesta a los requerimientos son menores durante las sesiones XC	1.0	ACEPTABLE	1.7	FUERTE	1.3	ACEPTABLE
4	La generación previa de información relevante para la toma de decisiones en las distintas fases del diseño ayuda a diseñar en forma más expedita	1.6	FUERTE	1.8	FUERTE	1.7	FUERTE
5	Es posible que cada 15 días un equipo de trabajo sesione 3-4 hrs	-0.1	NIGUN APOYO	1.0	ACEPTABLE	0.3	DEBIL
6	Trabajar en conjunto con todas especialidades ayuda a entender mejor los criterios de cada uno en términos de que agrega valor al diseño	1.3	ACEPTABLE	1.4	ACEPTABLE	1.3	ACEPTABLE
7	El uso de herramientas de gestión de documentos facilita el trabajo en la etapa de diseño	0.6	ACEPTABLE	1.8	FUERTE	1.0	ACEPTABLE
8	El uso de herramientas interactivas facilita el trabajo en las sesiones de diseño (tablet PC, pizarras interactivas, tabletas gráficas, etc)	0.6	ACEPTABLE	1.0	ACEPTABLE	0.8	ACEPTABLE
9	El uso de herramientas de modelamiento facilita la toma de decisiones durante las sesiones XC	0.6	ACEPTABLE	1.3	ACEPTABLE	0.8	ACEPTABLE
10	El uso de espacios colaborativos para el trabajo mejora las relaciones del equipo	1.4	ACEPTABLE	0.6	ACEPTABLE	1.1	ACEPTABLE
11	XC estandariza el conocimiento del proyecto entre los involucrados	0.7	ACEPTABLE	0.7	ACEPTABLE	0.7	ACEPTABLE
12	El distanciamiento de las sesiones extremas produce olvido del trabajo ya avanzado	1.4	ACEPTABLE	1.6	FUERTE	1.5	ACEPTABLE
13	En las sesiones XC es necesario entregar una lista de outputs (o documentos entregables) claramente definidos de acuerdo a lo que se espera de cada participante o mesa de trabajo	1.5	ACEPTABLE	1.6	FUERTE	1.5	FUERTE
14	La interacción entre arquitectos, calculistas, constructores y proveedores, genera resultados de diseño con mayor valor en términos de calidad y constructabilidad	1.8	FUERTE	0.6	ACEPTABLE	1.3	ACEPTABLE
15	Las sesiones XC se transforman en hitos claros dentro del proceso de diseño	1.1	ACEPTABLE	0.8	ACEPTABLE	1.0	ACEPTABLE

8.3.3. Resultados Encuesta Comparativa Caso Estudio versus Proyecto Anterior

En la encuesta Comparativa entre el Caso de Estudio versus un Proyecto anterior considerado como línea base, fueron encuestados un total de 7 involucrados en ambos proyectos.

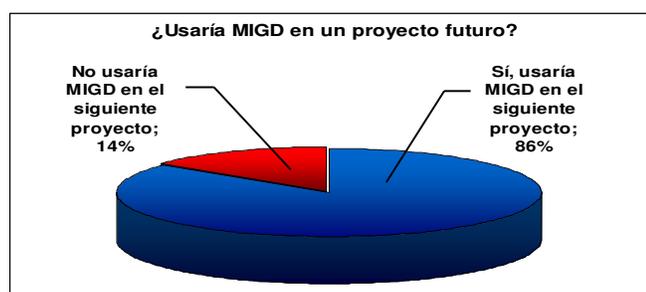


Gráfico 8-1: ¿Usaría MIGD en un proyecto futuro?

Frente a la pregunta si usarían nuevamente MIGD un 86% de los encuestados respondieron afirmativamente. En la tabla 8-5 se pueden apreciar los resultados obtenidos de la evaluación de ambos proyectos en términos de resultados de diseño, equipo y planificación y cumplimiento.

Tabla 8-5: Resumen de Resultados Encuesta Comparativa Caso Estudio vs Proyecto Base Anterior

PUNTAJE Y NIVEL DE APROBACIÓN				
	Proyecto base anterior		Caso de Estudio	
	PUNTAJE	NIVEL	PUNTAJE	NIVEL
Resultados de diseño				
Nivel de Calidad de los Diseños	1.7	ACEPTABLE	1.8	ACEPTABLE
Nivel de Constructabilidad de los Diseños	1.9	ACEPTABLE	1.7	ACEPTABLE
Nivel de consideraciones de costos en soluciones	1.1	ACEPTABLE	1.7	ACEPTABLE
Claridad en los resultados a alcanzar	1.4	ACEPTABLE	1.7	ACEPTABLE
Equipo				
Nivel de involucramiento del equipo de trabajo	1.4	ACEPTABLE	1.9	ACEPTABLE
Nivel de involucramiento de proveedores y empresas en soluciones de diseño	1.0	ACEPTABLE	1.0	ACEPTABLE
Nivel de entendimiento de puntos de vistas entre diferentes especialistas	1.0	ACEPTABLE	1.7	ACEPTABLE
Nivel de acuerdo en desiciones efectuadas	1.6	ACEPTABLE	1.9	ACEPTABLE
Nivel de rendimiento del equipo	0.8	DEBIL	1.0	ACEPTABLE
Nivel de Compromiso del Equipo	1.4	ACEPTABLE	1.4	ACEPTABLE
Planificación y Cumplimiento				
Nivel de cumplimiento de tareas	1.1	ACEPTABLE	0.9	DEBIL
Claridad en las tareas a ejecutar	1.1	ACEPTABLE	1.6	ACEPTABLE

En general no se aprecian diferencias significativas entre un proyecto y otro en la gran mayoría de los puntos evaluados (la gran mayoría de los puntos en ambos proyectos son evaluados como aceptables). Las principales características y afirmaciones con respecto a MIGD destacadas por los participantes del caso piloto son:

- Se reconoce al proceso de diseño como una constante interacción e iteración entre diferentes áreas.
- Genera espacios de discusión y participación que se traducen en diseños concensuados por todas las áreas.
- Obliga a un ordenamiento planificado y exige un compromiso.
- Se genera sinergia y eficiencia entre los equipos y partes componentes.
- Genera relaciones más efectivas de trabajo.

De acuerdo a los mismos comentarios de los encuestados, creen que las principales dificultades enfrentadas en esta implementación de MIGD están asociadas al nivel de compromiso de cada uno de los involucrados con el proyecto. Al ser un proyecto de investigación, donde los participantes adhieren libremente y disponibilizan sólo una parte de su tiempo total de trabajo al proyecto, siendo este tiempo disímil entre un participante y otro, es difícil lograr un involucramiento y compromiso de parte de todo el equipo en el uso de la metodología. Además se cree que es necesario generar una estructura administrativa más definida y con mayor influencia sobre el equipo de trabajo.

En el gráfico 8-2 se comparan cada uno de los ítems evaluados entre el proyecto realizado bajo una forma tradicional de trabajo y el proyecto piloto. En éste se observa, que si bien en la mayoría de los puntos ambos proyectos son evaluados como aceptables, el proyecto piloto supera en la mayoría de los aspectos al proyecto de línea base. Sólo en dos puntos se obtienen una evaluación menor: Nivel de constructabilidad en los diseños y nivel de cumplimientos de tareas.

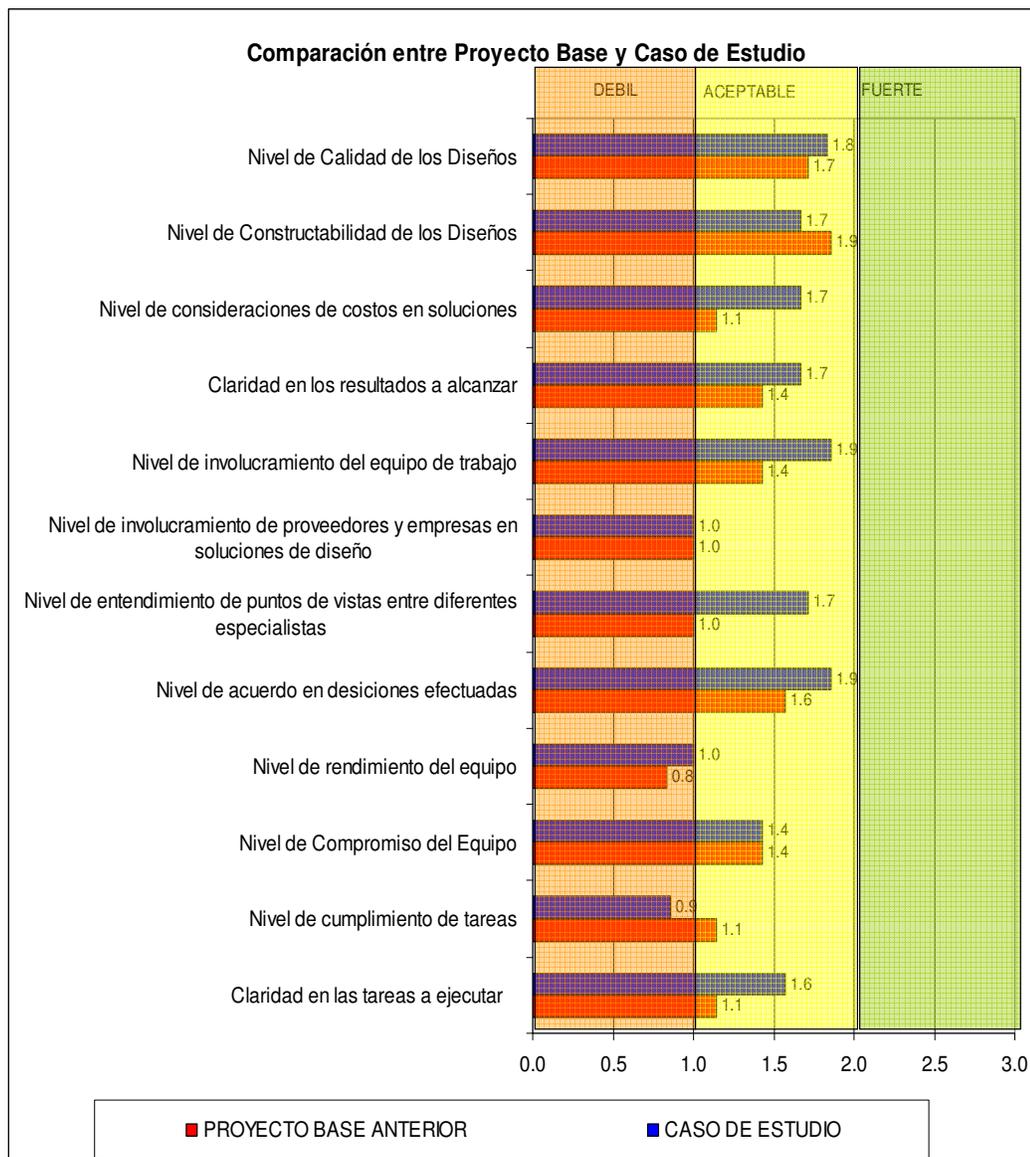


Gráfico 8-2: Comparación Caso Estudio vs. Proyecto Base Anterior

La diferencia de evaluación en el nivel de constructabilidad se debe a que uno de los encuestados prefirió no evaluar en este sentido el proyecto piloto dado que aun no se ven los resultados finales (Ver tabla H-4 en Anexo H). De los comentarios realizados por los encuestados, se rescata que la gran diferencia en torno a los diseños obtenidos, es la integración de la opinión de todos los involucrados del proyecto. En la experiencia

anterior, cada área tomaba sus propias decisiones con una baja consideración de las otras, llegando a resultados de manera separada. En cambio, en el caso piloto, se llegan a diseños concensuados por todos, con un nivel de acuerdo mayor entre especialidades, logrando considerar los distintos aspectos que generaban valor a las soluciones. Es esto lo que produce una evaluación mayor en términos de calidad de los diseños, pues las soluciones son íntegramente mejores, aunque no se haya logrado mejorar mayormente en términos de constructabilidad.

Con respecto al menor nivel de cumplimiento de tareas, este es asociado por los encuestados a que al trabajar de manera integrada, se generaban mayores exigencias con respecto al nivel y cantidad de tareas a realizar por cada participante. Si se analiza el gráfico, existe una mayor claridad de las tareas a realizar, un nivel involucramiento mayor de todo el equipo de trabajo, pero el nivel de compromiso no aumentó frente a las mayores exigencias de la metodología. Esto se traduce en un menor cumplimiento de tareas. Además a lo anterior, se suma que bajo MIGD, queda de manifiesto el incumplimiento al ser este controlado y medido. En cambio en el proyecto anterior no existía ningún tipo de indicador en este sentido, generando una mayor conciencia del incumplimiento tenido en el caso de la aplicación de MIGD.

8.3.4. Resultados Herramienta de evaluación de expertos

Esta encuesta fue aplicada a un total de 6 expertos consultores de la Industria con conocimientos en la filosofía *Lean* y su implementación. En la tabla 8-6 se presentan los resultados de esta evaluación.

De acuerdo a los expertos, MIGD cumple con la misión de controlar el proceso de diseño bajo sus tres perspectivas manifestadas en el modelo TFV de Koskela. Sólo dos de las afirmaciones fueron cuestionadas de mayor manera. Primeramente, con respecto a la afirmación que sólo la planificación por fases identifica el flujo de valor, está fue rebatida pues efectivamente la planificación por fases identifica el flujo de valor

en el mediano plazo, pero también lo hace el análisis de restricciones. El análisis de restricciones colabora en la identificación del plan ejecutable de valor de las tareas: ¿con quién hablar? ¿qué comprar?, etc. Por otra parte, con respecto a la afirmación que las tres herramientas generan flujo, no hubo mayor consenso por el entendimiento del concepto e interpretación de flujo de cada uno de los expertos. Algunos veían este principio como las tareas de flujo asociadas a la visión de flujo de los procesos (movimiento, esperas, inspecciones, entre otras). Bajo esta concepción, todas las herramientas disminuyen las tareas de flujo, permitiendo un proceso más dinámico. La visión del principio de flujo utilizado en este estudio es la definida por Womack y Jones (1996): hacer que fluyan las actividades que crean valor. Bajo esta percepción, se entiende por flujo como la velocidad con que se avanza en las tareas que crean valor, por lo que al decir que las tres herramientas generan flujo, se hace mención a que ayudan a aumentar la velocidad con que se avanza en términos de generación de valor, llegando a un proceso más dinámico. Este proceso más dinámico se logra a su vez, con la minimización de las tareas de flujo que no están agregando valor al proceso. Independientemente de la semántica utilizada de cada uno, hubo consenso dentro de la discusión del *Focus Group* que las tres herramientas ayudan a que el proceso aumente su velocidad, haciéndolo más dinámico por medio de la minimización de las tareas de flujo.

Tabla 8-6: Resumen de Resultados de Encuesta de Validación de Expertos

AFIRMACIONES	PUNTAJE	NIVEL DE ACEPTACIÓN
1. La metodología MIGD cumple con el Modelo TFV	1.6	FUERTE
2. Planificación por fases (PP) envuelve las Perspectivas de Flujo y Generación de Valor	0.8	ACEPTABLE
3. AR+CC envuelve las Perspectivas de Flujo y Transformación	1.3	ACEPTABLE
4. Extreme Collaboration (XC) envuelve las Perspectivas Transformación, Generación de Valor y de Flujo (sólo en sesiones XC genera flujo, pues “tira” la producción durante las sesiones XC gracias al mayor nivel de iteración e interacción en el equipo)	0.8	ACEPTABLE
5. XC y PP especifican valor	1.3	ACEPTABLE
6. Sólo PP identifica el flujo de valor	0.2	DEBIL
7. Las tres herramientas generan flujo	0.3	DEBIL
8. Las tres herramientas tiran la producción (pull)	1.0	ACEPTABLE
9. Las tres herramientas tienen mecanismos que buscan el mejoramiento continuo	0.8	ACEPTABLE
10. MIGD es una buena metodología para la implementación de LPDS en la etapa de diseño	1.0	ACEPTABLE

De acuerdo a las discusiones sostenidas y los resultados de la encuesta, la tabla 6-1: “Herramientas de MIGD y los principios *Lean*” queda actualizada y consensuada en la tabla 8-7, donde se presenta el acuerdo de lo evaluado durante este estudio con la experiencia y criterio de los expertos en la filosofía *Lean*.

Tabla 8-7: Herramientas de MIGD y los principios *Lean*- validado

	XC	PP	AR+CC
Especificar valor	✓	✓	
Identificación del Flujo de valor		✓	✓
Flujo	✓	✓	✓
Pull	✓	✓	✓
Perfección	✓	✓	✓

8.4. Resumen

En este capítulo se presentaron las herramientas de validación para MIGD y sus respectivos resultados. Las herramientas de validación utilizadas fueron tres encuestas a dos grupos de análisis (equipo de caso de estudio y expertos externos en *Lean*) y un *focus group* con la participación de ambos grupos para enfrentar la visión teórica con la práctica en torno a MIGD. En general las afirmaciones realizadas en estas encuestas fueron validadas por ambos grupos.

La encuesta general con respecto a MIGD aplicada a ambos grupos (expertos y participantes del caso de estudio) esta compuesta por afirmaciones en torno a MIGD, basadas tanto en la teoría como de las observaciones hechas durante el caso de estudio. Estas afirmaciones, a su vez, fueron el hilo conductor de la discusión del *Focus Group* realizado. De acuerdo a los resultados obtenidos, se afirma que MIGD es una metodología que se adapta a las necesidades de la Industria de Ingeniería, siendo una solución que permite optimizar tanto el proceso de diseño como las soluciones generadas a partir de éste. Además se confirman los beneficios de PP y se reafirma la necesidad de efectivamente implementar LPS íntegramente, siendo el análisis de restricciones y el control de compromisos en el corto plazo, parte indiscutible de MIGD. Además, en torno a XC, se confirma que incluso implementada de una forma alternativa a la de la NASA (no un trabajo continuo, sino que con separación entre sesiones XC), produce un aceleramiento en el proceso de transformación del diseño. Este aceleramiento se produce, primeramente por el mayor nivel de interacciones e iteraciones que se generan en una sesión XC versus la forma tradicional de trabajo. Además, se valora el uso de tecnologías de la información pues colaboran a alcanzar mejores resultados, facilitando la visualización, el procesamiento y la administración de documentos, así como también la toma de decisiones más objetivas.

La segunda encuesta fue exclusivamente aplicada al equipo de trabajo del proyecto. Frente a la pregunta si usarían nuevamente MIGD un 86% de los encuestados

respondieron afirmativamente. Además, por medio de esta encuesta, se buscaba comparar un proyecto previo de este equipo bajo una metodología tradicional de trabajo y el proyecto piloto utilizando MIGD. En general no se apreciaron diferencias significativas entre un proyecto y otro en la gran mayoría de los puntos evaluados (la gran mayoría de los puntos en ambos proyectos son evaluados como aceptables). Si bien en la mayoría de los puntos, ambos proyectos son evaluados como aceptables, el proyecto piloto supera en la mayoría de los aspectos al proyecto de línea base. Sólo en dos puntos se obtienen una evaluación menor: Nivel de constructabilidad en los diseños y nivel de cumplimientos de tareas. El detalle y explicación del menor nivel de evaluación se pueden encontrar a lo largo del capítulo.

Finalmente se realizó una tercera encuesta exclusiva para expertos en temas *Lean*, con el objetivo de validar la metodología en torno a esta filosofía. De acuerdo al panel de expertos, MIGD cumple con la misión de controlar el proceso de diseño bajo sus tres perspectivas, manifestadas en el modelo TFV de Koskela. Al velar por el mejoramiento del proceso bajo estas tres visiones, se logran los objetivos esenciales de la filosofía *Lean*: maximizar el valor y minimizar las pérdidas. De esta manera se puede afirmar que MIGD es una metodología que cumple y se rige bajo los preceptos *Lean*.

9. RECOMENDACIONES PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE MIGD

9.1. Recomendaciones Generales

9.1.1. Capacitación

La primera recomendación antes de cualquier implementación que implique un cambio en la forma de trabajar de una organización, es la capacitación. En el caso del uso de MIGD, es de vital importancia, primeramente crear conciencia acerca de los principios y valores que persigue la filosofía *Lean*. Normalmente las personas tienden a hacer las cosas como acostumbran y en el caso del proceso de diseño, esto es enforzar el trabajo sólo bajo la visión de tradicional de conversión. Es necesario hacerles ver que existen otras visiones que permiten la mejora del proceso de diseño de manera más integra. Sólo bajo una comprensión total de los principios perseguidos, se puede comenzar a focalizar el mejoramiento en los tres aspectos. Hay que entender la naturaleza del diseño para poder tomar acciones sobre él. Además, es necesario que todos se comuniquen en un mismo idioma y vayan en busca del mismo objetivo. En segundo lugar, se recomienda una capacitación orientada hacia la colaboración y el trabajo en equipo. Normalmente se piensa que trabajar en equipo es pertenecer a un grupo que tiene, en teoría, un objetivo común. Se dividen las tareas y cada cierto tiempo se hacen reuniones de coordinación, para tratar de lograr acuerdos en acciones que se han encaminado de manera separada, y donde cada cual defiende su punto de vista por sobre el del resto. El trabajo efectivo e intensivo en equipo requiere una comunicación continua, confianza, negociación permanente y entender que la mejor solución, nacerá de la maximización y optimización del global, no de locales por separado. Es como en las matemáticas, el óptimo local de una función no necesariamente es el óptimo global. Además un mayor conocimiento y cercanía entre los miembros del equipo favorece el alcance de acuerdos y por ende de resultados, dada la mayor efectividad en las comunicaciones.

9.1.2. Participación activa de distintos involucrados

Un factor que podría ser de mayor complicación en la implementación de MIGD es lograr la participación activa de mandantes y contratistas en el proceso. Para lograrlo, el deseo de participación activa debe venir desde la necesidad de involucramiento del mismo mandante del proyecto. Incluso se deberían alcanzar mejores resultados si es éste quien solicita la utilización de MIGD dentro del desarrollo del proyecto a nivel contractual asegurando la participación de todos los involucrados en el ciclo de vida del proyecto. Así como la participación activa del mandante, es indispensable el compromiso de los altos mandos de las organizaciones involucradas en la implementación. La motivación por el uso de la metodología debe venir desde la dirección de las empresas, buscando el alineamiento de la organización bajo los principios que rigen esta filosofía de mejoramiento y buscando que el uso de la metodología sea un estándar dentro de la organización.

9.1.3. Implementación: un proceso paulatino

Finalmente hay que destacar que la implementación de MIGD debe ser un proceso paulatino. No es recomendable intentar implementar las tres herramientas de MIGD en un mismo tiempo. De acuerdo a lo aprendido en el caso de estudio y en consideración de antecedentes de diversos estudios, se recomienda implementar primeramente las herramientas de planificación y control (PP y LPS), para posteriormente dar paso a XC. Esto con el objetivo de conocer realmente el proceso de diseño, conocer cual es el nivel de cumplimiento y regularlo disminuyendo la variabilidad del cumplimiento por medio de la identificación y eliminación de actividades que no agregan valor. Continuando con la analogía de la pista de alta velocidad primero es necesario conocer la ruta de la pista (conocer el proceso, PP) por la que hay que correr, después sacar los obstáculos del camino (eliminar pérdidas, LPS) para proceder a pavimentarlo (generación de buffer de información e *inputs*) y una vez con la pista reconocida, libre de obstáculos y pavimentada, se puede comenzar a correr

(utilización de XC). De esta manera, se asegura alcanzar la alta velocidad que se requiere y que no se sufrirá un accidente en el camino.

9.2. Recomendaciones de implementación en torno a LPS: PP y AR+CC

9.2.1. Elementos de LPS son inseparables

A lo largo de este estudio se ha reafirmado que la aplicación de sesiones de planificación necesariamente debe ir acompañada de la posterior aplicación del análisis de restricciones y control de compromisos, para lograr efectivamente ejecutar lo acordado. Es indispensable implementar LPS en su integridad (necesito despejar la pista, no sólo conocer el camino).

9.2.2. Rescatar correctamente Causas de no Cumplimiento y generar soluciones reales a ellas

Uno de los mayores desafíos en la implementación de LPS, es rescatar el aprendizaje adquirido mediante una correcta identificación de las causas de no cumplimiento, y que además, este aprendizaje se traduzca finalmente en acciones de mejoramiento en la forma de trabajar de los profesionales. Lo anterior, es un punto que realmente es un desafío no menor y que es indispensable subsanar para lograr el objetivo de la herramienta: lograr cada vez un proceso más y más limpio.

9.2.3. Participación activa en la sesión de planificación de todos los involucrados de la fase

En la aplicación de las sesiones PP es indispensable la participación de todos los involucrados en la fase. Al decir los involucrados, se requiere que además de estar quienes toman las decisiones deben estar quienes efectivamente hacen el trabajo, pues ellos son los que mejor conocen las restricciones de tiempo, las iteraciones e interacciones que son requeridas. Por otra parte, en términos de la sesión PP no se debe

olvidar, que antes de comenzar la planificación es indispensable rescatar los problemas y causas de no cumplimiento identificadas en la fase que está por cerrar, sacar las lecciones aprendidas y en base a ese nuevo conocimiento proseguir con la sesión.

9.2.4. Momento de realización de sesión PP

Finalmente con respecto a las sesiones PP, mencionar que éstas se deben realizar con anticipación de al menos un mes al cierre de fase en curso. Esto considerando que el resultado de la sesión es la base para el análisis de *Lookahead* de LPS. Es decir, si se usan fases de 3 meses, las sesiones deberían tener lugar cada dos, o si las fases son de 2 meses, las sesiones deberían ser mensuales.

9.2.5. Aplicación de LPS a nivel de multiproyecto

En el caso de tener los profesionales una cartera de varios proyectos a cargo, LPS debe ser a nivel de multiproyecto (PP+AR+CC). Esto para obtener mayor precisión en la planificación efectuada, al tener un escenario mucho más real de los tiempos disponibles y las tareas a desarrollar de manera global en el período evaluado.

9.3. Recomendaciones de implementación en torno a XC

9.3.1. En los inicios disminuir la cantidad de trabajo asignado a las sesiones XC

Se recomienda para las primeras sesiones fijar como objetivo un tercio del trabajo inicialmente considerado, aumentando las tareas a medida que el equipo vaya adquiriendo experiencia en la metodología y tenga conocimiento de lo que realmente es capaz de hacer. Esta recomendación se basa en que en primeras aplicaciones, se suele sobreestimar la cantidad de trabajo que efectivamente se puede realizar en 4 horas. En equipos que nunca han usado sesiones de trabajo intensivo, la estimación se suele basar en los temas que se pueden discutir en cuatro horas, pero discutirlos, es distinto a evaluarlos, mejorarlos o desarrollar actividades en el momento. Además, en el proceso

normal no se considera el tiempo efectivo de discusiones para lograr los acuerdos, las cuales se intensifican al tener a todos los involucrados en un mismo ambiente. Por otra parte, esta medida ayuda a evitar el cansancio que se produce cuando el equipo sesiona por más de 4 horas. A partir de la experiencia de este estudio, se puede concluir que el cansancio extremo es un factor que se puede evitar al definir en forma correcta el tamaño de las actividades a realizar. Igualmente se recomienda nunca poner dos sesiones en un mismo día (una sesión XC en la mañana y otra en la tarde por ejemplo), pues tras cuatro horas de sesión XC el nivel de cansancio es alto y a pesar de tener un descanso entre medio, el equipo no logra alcanzar el nivel de rendimiento requerido y sólo se logra crear reticencia a las sesiones XC.

9.3.2. Tiempo entre sesiones XC

Si las sesiones de trabajo se enfocan hacia una misma etapa del proyecto (diseño conceptual, anteproyecto de arquitectura, etc.), se recomienda que el tiempo entre ellas no sea mayor a dos semanas, debido a que se observa olvido de los avances conseguidos en la sesión anterior. Este olvido obliga a invertir tiempo en recordar, actividad que es catalogada como pérdida, por ende retrasa el flujo de las actividades agregadoras de valor. Incluso es altamente recomendable que las sesiones se distancien no más allá de una semana, si esto fuera posible. No hay que olvidar que la meta en términos de la utilización de XC como método de trabajo, es llegar al régimen de trabajo que tiene la NASA, en que sólo existe una etapa previa, un gran ciclo continuo de sesiones XC, para finalmente dar unos pequeños toques al diseño por medio de la manera tradicional de trabajo.

9.3.3. Dos tipos de sesiones XC para dos tipos de enfoques y necesidades

Considerando las dos dimensiones de XC para AEC (política y de trabajo intensivo), es altamente recomendable separar en sesiones distintas las instancias de política y toma de decisiones con las instancias de trabajo intensivo. No es que una sesión sea exclusiva para tomar decisiones o exclusiva para trabajar, siempre es bueno que estas dos

instancias se sobrepongan, pero sí se puede planificar con una cierta priorización sobre alguno de los dos aspectos. Esto se recomienda porque no necesariamente todos quienes toman las decisiones son quienes deben estar desarrollando el diseño. Un ejemplo claro, es el mandante, él es quien decide que aspectos son los de valor en el diseño, se puede llegar a un croquis con él, pero hacer que este participe en instancias que son de neta evaluación y no de definición puede ser contraproducente en la disposición que este tome con respecto a la metodología (dado que muchas veces el diseño y proyectos de ingeniería en general no es su único negocio). La asignación y estructuración del tiempo a utilizar en cada una de estas dimensiones depende del tipo de sesión XC que se está enfrentando. Si se requiere una sesión con mayor valor de intercambio de criterios, donde el enfoque sea obtener consensos y negociar ciertos aspectos, se debe otorgar más tiempo a las instancias de conversación grupal. Por otra parte, si el objetivo de la sesión apunta a obtener resultados en torno a la ejecución de soluciones de diseño, se debe priorizar el trabajo y entregar un mayor tiempo a esta actividad, limitando a lo justo las instancias de negociación y toma de decisiones.

9.3.4. Continuidad y alineamiento en el equipo de trabajo

En términos del equipo de trabajo se considera prioritaria la estabilidad de sus miembros en un ciclo de sesiones, además de su dedicación exclusiva cuando cada una de éstas se efectúa. En el caso de incluirse nuevos participantes a una sesión XC, es indispensable que éstos tengan claridad del trabajo que se ha realizado y decidido en otras sesiones XC antes de su participación. Además se requiere que comprenda cabalmente los objetivos de la sesión en que participará y qué se espera de su involucramiento en esa instancia. En el caso piloto, se buscó generar este conocimiento y nivelación con el equipo en las mismas sesiones XC. Para esto, se usaron presentaciones a modo de resumen al inicio de la sesión. Esta es una práctica que no se recomienda en futuras implementaciones, pues, se pierde tiempo para el trabajo mismo de la sesión y provoca cansancio y desagrado innecesario en aquellos participantes que conocen claramente el trabajo realizado previamente y los objetivos que se persiguen.

9.3.5. Sub-grupos de trabajo en sesiones XC

Para los sub-grupos o mesas de trabajo se recomienda un máximo de 5 personas como integrantes. Por esta consideración, es necesario determinar cuidadosamente qué miembros del equipo deben participar, conforme a los objetivos planteados para cada sesión, pues si existe presencia mayor de personas a las explícitamente necesarias, se genera una dinámica más lenta de trabajo, además de causar sentimientos de pérdida de tiempo en quienes no eran realmente requeridos. Con respecto a la interacción e intercambio de valor entre mesas de trabajo se recomienda que **sólo y estrictamente** cuando la interacción de la sesión XC no se genere de manera natural entre las mesas o sub-equipos de trabajo, se propone generar una dinámica iterativa entre presentaciones de puntos a evaluar y/o interés común y trabajos por sub-equipos. No se debe olvidar que las presentaciones no agregan valor al cumplimiento de los objetivos, sólo cortan el flujo de trabajo, retrasando la obtención de las metas propuestas. Además, bajo este tipo de dinámicas, se corre el riesgo que el equipo no logre generar interacciones de manera espontánea, principal requerimiento para un desarrollo óptimo de XC.

9.3.6. *Outputs* claramente especificados y definidos

Más allá de establecer objetivos claros para las sesiones XC es necesario instaurar metas específicas con *outputs* claros, para cada sub-grupo del equipo y si fuera necesario llegar al nivel de tareas por individuo. No es suficiente con establecer los objetivos, sino que es necesario detallar una lista de entregables, con responsables asignados para que hagan entrega de los resultados alcanzados al final de la sesión XC. Esto ayuda a que el equipo tenga mayor claridad de lo que se espera de ellos durante la sesión XC. Además, cuando no existe costumbre de trabajar de manera intensiva en sesiones colaborativas, los miembros del equipo no tienen claridad por donde comenzar o qué efectivamente hacer, siendo esta lista con *outputs* claramente definidos de gran ayuda. Por otra parte, se sugiere predeterminar el contenido y formato digital de estos entregables exigiendo su inclusión en la red electrónica a medida que estos son generados, de manera de inmediatamente ir disponibilizando el trabajo de todos para

todos y asegurar que el conocimiento, evaluaciones y resultados de la sesión quedan efectivamente plasmados, evitando la pérdida de información. Además esta medida ayuda a impulsar el uso de la red electrónica cuando no hay costumbre de trabajar bajo esta modalidad.

9.3.7. Uso de Tecnologías de la Información

Con respecto al uso de tecnologías de la información, se confirmó que las herramientas interactivas, así como soporte en gestión de documentos y el uso de modelamiento, colaboran a alcanzar mejores resultados, facilitando la visualización, el procesamiento y la administración de documentos, así como también la toma de decisiones más objetivas. Para poder sacar un provecho mayor a estos aspectos, es necesario capacitar al equipo en el uso de las herramientas TI a utilizar a lo largo de las sesiones XC. El manejo de TI debe ser alto, pues se requieren análisis y resultados rápidos y no son las sesiones XC la instancia para ir a aprender sobre ellas.

10. CONCLUSIONES

10.1. Contexto teórico y MIGD

La filosofía *Lean*, por medio del modelo TFV (transformación, flujo y valor), proporciona tres enfoques que permiten conceptualizar y comprender el funcionamiento del proceso de diseño de manera más íntegra, facilitando la identificación de oportunidades de mejoramiento y la implementación de herramientas para reducir sus pérdidas y generar valor. Esta tesis recoge esta idea planteando la Metodología Integrada de Gestión de Diseño –MIGD, que fuertemente fundamentada en los principios y conceptos *Lean*, busca integrar los tres enfoques actuando simultáneamente para la optimización de la transformación, la reducción de actividades que no agregan valor para conseguir un flujo continuo, y la maximización del valor previamente identificado.

MIGD se basa en la integración de tres herramientas principales: Planificación por Fases, el Sistema del Último Planificador y *Extreme Collaboration*; representando cada una de ellas un pilar de apoyo para la gestión y ejecución del proceso de diseño: Estructuración del trabajo (PP), control de producción (LPS) y, ejecución integrada de diseño (XC), sustentándose cada una entre sí. Cada una de estas herramientas tiene un mecanismo propio para conseguir el mejoramiento continuo. Las problemáticas detectadas con cada una, deben ser consideradas tanto al analizar las causas de no cumplimiento de las otras dos, como en el momento de implementar acciones correctivas, para así lograr un mejoramiento integrado y efectivo.

10.2. MIGD: Construyendo una autopista de alta velocidad

La analogía con una pista de alta velocidad muestra claramente lo que MIGD busca producir: Se requiere conocer la ruta por la que hay que correr (conocer el proceso, LPS-PP) y sacar después los obstáculos del camino (analizar restricciones y eliminar pérdidas, LPS-AR+CC), para luego pavimentar la pista (generar buffer de

información e *inputs*), creándose así las condiciones para comenzar a correr, y correr rápido (utilización de XC), sin sufrir un accidente en el camino por la alta velocidad.

10.2.1. Conociendo el camino: Planificación por Fases

Producto de la aplicación de planificación por fases, el equipo alcanzó una mayor definición, claridad y control de las tareas que debía ejecutar previo a las sesiones XC, lo que mejoró el nivel de cumplimiento de *inputs*, facilitando el alcance de los objetivos planteados (se sabía por donde había que ir).

10.2.2. Despejando el camino de obstáculos: Análisis de restricciones y control de compromisos

A pesar que en el caso de estudio el módulo de Control de Producción en base al análisis de restricciones y control de compromisos del corto plazo del *Last Planner System*© no pudo ser implementado como tal, se llevó un seguimiento del cumplimiento de los compromisos en las fechas establecidas en la sesión de planificación por fases. El nivel de cumplimiento medido fue en promedio de 16,8% para la fase 1 y de un 10,5% para la fase 2. Al evaluar las causas de no cumplimiento, se observó que se asocian principalmente al hecho que se intentaba ejecutar lo que no se podía, dado que existían restricciones que lo impedían. Si bien la estructuración del trabajo fue de alta utilidad (permitió alcanzar los objetivos de las sesiones XC, mejorando el desempeño del proyecto), el bajo cumplimiento de compromisos reafirmó la necesidad de establecer un plan de trabajo con responsables en el corto plazo (no sólo en el mediano plazo). Además las causas de no cumplimiento observadas, corroboran que es indispensable realizar un análisis de restricciones previo, para programar lo que sí se puede hacer y realmente materializarlo (ser capaces de sacar los obstáculos del camino a tiempo).

10.2.3. Aumentando la velocidad: Extreme Collaboration

Aplicando XC, se produce un aceleramiento del proceso de transformación en el diseño, debido al mayor nivel de interacciones e iteraciones que se producen en una sesión XC versus la forma tradicional de trabajo. Además, se confirmó que para obtener mejores resultados en el nivel de cumplimiento de los objetivos de una sesión XC, es necesario tener controlado el proceso antes de la sesión, asegurando que se tendrá lo necesario para poder trabajar de manera continua en las sesiones, reduciendo la variabilidad.

Conociendo y dejando sin obstáculos la pista, una vez pavimentada, se puede pensar en correr. La velocidad de la carrera está dada por el nivel de las iteraciones e interacciones producidas por el equipo. Mayor cantidad de ellas, hacen posible alcanzar los mismos resultados en menos tiempo, acelerando efectivamente el proceso completo de diseño. De esta forma, con XC se puede correr, y correr más rápido.

10.3. Conclusión general

MIGD se rige por los tres enfoques *Lean* del diseño. Busca el mejoramiento de manera integrada, facilitando la optimización tanto del proceso de diseño, como de las soluciones consensuadas obtenidas, a través de la reducción de pérdidas y la maximización del valor por medio de la colaboración, aspectos fuertemente fundamentados en los principios *Lean* y el modelo TFV. El 86% de los encuestados que participaron en el caso de estudio utilizarían MIGD en un proyecto futuro. Este resultado, además de la experiencia observada del caso de estudio, las diversas opiniones del equipo de trabajo del proyecto piloto y la validación del panel de expertos, coinciden en que MIGD responde a las problemáticas y necesidades de la Industria de Ingeniería.

10.4. Líneas de Investigación a seguir

A partir de este estudio y sus resultados hay inquietudes e ideas que nacen para mejorar lo aquí establecido y continuar una línea de investigación en torno a este tema en el futuro.

a) *Capacitación:*

Generar un plan de capacitación que busque desarrollar las competencias necesarias para el uso de MIGD (conocimiento de filosofía *Lean* y sus herramientas, colaboración y trabajo en equipo, manejo de tecnologías interactivas y software asociados al diseño).

b) *Con respecto al ciclo de vida del proyecto:*

- Utilizar MIGD en la implementación de LPDS.
- Estudiar y validar las adaptaciones necesarias para utilizar MIGD en la etapa de Ingeniería de detalle.
- Evaluar los efectos de la aplicación de MIGD durante la etapa de diseño en los resultados alcanzados en la etapa de construcción del proyecto. Analizar si al implementar MIGD en etapas tempranas del proyecto se ven disminuidas las pérdidas asociadas al diseño como son las indefiniciones en el proyecto, planos y especificaciones erróneas y el nivel de adicionales en los contratos con los contratistas de construcción.

c) *Con respecto al nivel de interacciones e iteraciones del proceso:*

- Evaluar el nivel de interacción e iteración del equipo de trabajo usando la matriz estructural de diseño (DSM) en el proceso de diseño utilizando MIGD versus un proceso de diseño tradicional.
- Incluir DSM dentro de MIGD para evaluar los momentos del proceso que tienen mayor interacción y paralelismo con el objetivo de establecer las sesiones XC, determinar quienes son los participantes que se deben incluir en cada uno de ellas y diseñar los sub-equipos de trabajo.

d) *Utilización de Buffers en MIGD:*

- Estudiar cuál es el tamaño ideal para la etapa previa a la sesión XC (o ciclo de sesiones XC) por medio de la utilización de análisis de *buffers*.

BIBLIOGRAFÍA

Alarcón, L.F. & Mardones, D.A. (1998). “Improving the Design-Construction Interface”. Proceedings IGLC 6, Guarujá, Brazil.

Ballard, G. (1994), “The Last Planner”. Northern California Construction Institute Spring Conference, Abril, 1994, Monterey, CA

Ballard, G. (1997). “Lean Construction and EPC Performance Improvement”. Lean Construction. Alarcón, L.F. (ed.), A.A. Balkema, Rotterdam, The Netherlands, 79-91.

Ballard, G. & Koskela, L. (1998). “On the Agenda of Design Management”. Proc. 6th Annual Lean Construction Conference. Guarujá, Brazil, 13-15 August.

Ballard G. (1999), “Can pull techniques be used in design management?”, Conference on Concurrent Engineering in Construction, Helsinki, Finlandia.

Ballard G. (2000), “Lean Project Delivery System”, LCI White Paper # 8, Lean Construction Institute, Berkeley, CA.

Ballard G. (2000a), “Phase Scheduling”, LCI White Paper # 7, Lean Construction Institute, Berkeley, CA.

Ballard G., Koskela L., Howell G. & Zabelle T. (2001), “Production System Design: Work Structuring Revisited”, LCI White Paper # 11, Lean Construction Institute, Berkeley, CA.

Ballard G. & Zabelle T. (2000), “Project Definition”, LCI White Paper # 9, Lean Construction Institute, Berkeley, CA.

Ballard G. & Zabelle T. (2000b), “Lean Design: Process, Tools, & Techniques”, LCI White Paper # 10, Lean Construction Institute, Berkeley, CA.

Bellamine N. & Saoud B. (2002), “Modeling and Simulating Extreme Collaboration: An Agent-Based Approach”, University of Tunis, Túnez

Bicharra A., Kunz J., Ekstrom M. & Kiviniemi A. (2004), “Building a project ontology with extreme collaboration and virtual design and construction”, *Advanced Engineering Informatics*, N° 18, 71–83

Browning T. (2001), “Applying the Design Structure Matrix to System Decomposition and Integration Problems: A Review and New Directions”, *IEEE Transactions on Engineering Management*, Vol 48, N° 3, 292-306.

Bustamante J. (2007), **Implementación de un modelo de compromisos racionales para mejorar la confiabilidad de la planificación en proyectos de construcción.** Tesis de Magíster en Ingeniería, Departamento de Ingeniería y Gestión de la Construcción, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.

Camp R. (1989), **Benchmarking: The Search for Industry Best Practices that Lead to Superior Performance.** ASQC Quality Press, Milwaukee, WI, 299 p.

Campero M. & Alarcón L. (2003), **Administración de Proyectos Civiles.** Ediciones Universidad Católica de Chile, 380 pp.

Chachere J., Levitt R. & Kunz J. (2003), “Can you accelerate your project using extreme collaboration? A model based Analysis”, CIFE Technical Report N°154, Noviembre

Chachere J., Levitt R. & Kunz J. (2004), “Observation, theory, and simulation of integrated concurrent engineering: Grounded theoretical factors that enable radical project acceleration”, CIFE Working Paper N° WP087, Agosto

Coles E. (1990), “Design Management: A Study of Practice in the Building Industry”, The Chartered Institute of Building, Occasional Paper No. 40. 32 p.

Cooper K. (1993), “The Rework Cycle: Benchmarks for the Project Manager”. Project Manager Journal, Vol 24, Marzo, 17-21

Correa C. (2009), **Desarrollo e Implementación de un Modelo de Gestión de la I+D+i para las Empresas Constructoras Basado en la Norma UNE 166002**. Tesis Doctoral, Departamento de Ingeniería de la Construcción y de Proyectos de Ingeniería Civil, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España

Cross N. (1994), Engineering Design Methods. **Strategies for Product Design**. Wiley, 2nd ed. London, 179 pp.

Cruz, J. (1996), **Diagnóstico, Evaluación y Mejoramiento de Procesos de Planificación de Proyectos en la Construcción**. Tesis de Magister en Ciencias de la Ingeniería, Departamento de Ingeniería y Gestión de la Construcción, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile

Emmitt S., Sander D & Christoffersen A.K. (2004), “Implementing Value through Lean Design Management”, Proceedings IGLC 12. Elsinore, Dinamarca.

Emmitt S., Sander D & Christoffersen A.K. (2005), "The Value Universe: Defining a Value Based Approach to Lean Construction". Proceedings IGLC 13, 57-64, Sydney, Australia.

Eppinger S. (2001), "Innovation at the Speed of Information", Harvard Business Review, Vol. 79, N°1, Enero, 149-158

Fischer M. & Kunz J. (2004), "The Scope and Role of Information Technoloy in Construction". CIFE Technical Report N°156, Febrero

Freire J. (2000), **Metodología para el mejoramiento del proceso de diseño en proyectos**. Tesis de Magíster en Ciencias de la Ingeniería, Departamento de Ingeniería y Gestión de la Construcción, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile

Hopp W. & Spearman M. (1996), **Factory Physics: Foundations of Manufacturing Management**. Irwin / McGraw-Hill, Boston, 668 pp.

Hubka V. & Eder W. (1988), **Theory of technical Systems**. Springer. Berlin. 275 p.

Huovila, P., Koskela, L. & Lautanala, M. (1997). "Fast or Concurrent: The Art of Getting Construction Improved." **Lean Construction**, Alarcón, L.F. (editor), A.A. Balkema, Rotterdam, The Netherlands, 143-159

Izaguirre L. & Alarcón L.F. (2008), "Modelación multidimensional: un mecanismo de mejora para la gestión de proyectos de construcción", Ambiente Construido, Porto Alegre, Vol. 8, N°3, Julio-Septiembre, 7-19

Josephson, P. & Hammarlund, Y. (1996), **Costs of Quality Defects in the 90's**. Report 49, Building Economics and Construction Management, Chalmers University of Technology, 125 p.

Knapp S., Charron R., & Howell G. (2006), "Phase planning today", *Revista Ingeniería de Construcción*, Vol. 22, N°3, Diciembre 2007, 157-162

Koskela, L. (1992) "Application of the New Production Philosophy in Construction". Report N° 72, Center for Integrated Facility Engineering, Department of Civil Engineering, Stanford University, CA, 75 p.

Kokela, L & Houvils, P. (1997) "On Foundations of Concurrent Engineering in Anumba". *Concurrent Engineering in Construction CEC 1997*. 22-32, Julio, Londres, Inglaterra.

Koskela L. (2000), **An exploration towards a production theory and its application to construction**. Tesis Doctoral, VTT Building Technology, Espoo, Finlandia, 296 p.

Kotler P. (1993), **Mercadotecnia**. Editorial Pretice Hall Hispanoamerica, 3ra Edición, Ciudad de México, México

Lottaz C., Clément D., Faltings B. & Smith I. (1999), "Constraint-Based Support for Collaboration in Design and Construction". *Journal of Computing in Civil Engineering*, ASCE Vol. 13, N°1, Enero, 23-35.

Mardones, D. (1997), **Evaluación de la Interfase Diseño Construcción en Obras de Edificación: Recomendaciones para Asegurar la Calidad de los Diseños**. Tesis de Magíster en Ciencias. Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad de Chile, Santiago, Chile.

Mark G. (2001), "Extreme Collaboration", *Communications of the ACM*, Vol. 45, N° 6 (Junio), 89-93

Mourgues C. & Fischer M. (2001), “Investigaciones en tecnologías de Información Aplicadas a la Industria A/E/C (Arquitectura, Ingeniería y Construcción)”, CIFE Technical Report N°124, Enero

Mistree F., Smith W. & Bras B. (1993), “A Decision-Based Approach to Concurrent Design”, **Concurrent Engineering: Contemporary Issues and Modern Design Tools**. Parsaei & Sullivan, Charpman & Hall, 127-158

Pavez, I. (2007), **Desarrollo del Recurso Humano para apoyar la Implementación de “Lean Construction”: Perfil de Competencias y Capacitación**. Tesis de Magíster en Ciencias de la Ingeniería, Departamento de Ingeniería y Gestión de la Construcción, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile

Paulson B. Jr. (1976), “Designing to reduce Construction Costs”, Journal of Construction Division, ASCE Vol 102, N°4, Diciembre, 587-592.

Rischmoller L., Alarcón L.F. & Koskela L. (2006), “Improving Value Generation in Design Process of Industrial Projects using CAVT”, Journal of Management in Engineering, Vol. 22, N°2, Abril, 52-60

Rischmoller L. & Alarcón L.F. (2005), “Using Lean Principles as a framework to study information technology in construction” Proceedings IGLC 13. 171-178. Sydney, Australia.

Rischmoller L. & Alarcón L.F. (2002), “4D-PS: Putting an IT new work process into effect” Proceedings CIB W78 Conf. 2002 - *Distributing knowledge in Building*. Aarhus School of Architecture, Aarhus, Dinamarca.

Russell J. & Jaselskis E. (1992), "Quantitative Study- Contractor Evaluation Programs and their Impact", Journal of Construction Engineering and Management, Vol 118, N°3, Septiembre, 612-624

Shingo S. (1988), **Non-Stock Production**. Productivity Press, Cambridge, Massachusetts, 454 p.

Stalk, G. & Hout, T. (1990), **Competing Against Time: How Time-Based Competition is Reshaping Global Markets**. Free Press, New York, NY. 285 p.

Sverlinger P. (1996), **Organizational Coordination in the Design Phase**. Report 44. Building Economics and Construction Management, Chalmers University of Technology, 188 p.

Thyssen M.H., Emmitt S., Bonke S. & Chistoffersen A.K. (2008), "The Toyota Product development System applied to a Design Management Workshop Model". Proceedings IGLC 16, 507- 517, Manchester, Reino Unido.

Tuholski S. & Tommelein I. (2008), "Design Structure Matrix (DSM) implementation on a seismic retrofit". Proceedings IGLC 16. 471-483. Manchester, Inglaterra.

Tzortzopoulos P. & Formoso C. (1999), "Considerations on Application of Lean Construction: principles to Design Management". Proceedings IGLC 7. 26-28 Julio. University of California, Berkeley, CA.

Walter, A. (1984), **Project Management in Construction**. 1ª Edición. Granada Publishing. Reino Unido.

Walton, D. (2006), **Fundamentals of Critical Argumentation**. Cambridge University Press, Nueva York.

Ward A. & Sobek D. (1999), "Toyota's Principles of Set-Based Concurrent Engineering". Sloan Management Review, Vol. 40, N°2, Enero, 67-83

Womack J., Jones D. & Ross (1990). **The Machine that Changed the World**. Editions Rawson Associates, Nueva York, Estados Unidos, 323 pp.

Womack J. & Jones D. (1996), **Lean Thinking**. Simon & Schuster, Nueva York, Estados Unidos, 350pp.

ANEXOS

A. ANEXO A: Principios de *Lean Construction*

A continuación se explica cada uno de los principios propuestos por Koskela (1992):

1. Reducir la participación de las actividades que no agregan valor

Este principio se enfoca en la búsqueda del mejoramiento de la eficiencia de los procesos a través del mejoramiento de la eficiencia de las actividades de conversión y de flujo y por medio de la minimización de las actividades que no agregan valor.

Para Koskela (1992) la razón de la existencia de las actividades que no agregan valor, radica en las siguientes tres causas:

- diseño
- ignorancia
- naturaleza inherente de la producción

Dado que existe un porcentaje que es inherente a la producción, es que se busca eliminar todas aquellas actividades que no agregan valor que se deben a un mal diseño del proceso o a ignorancia de éste, minimizando de esta forma estas actividades de flujo. Es por esto que en la aplicación de este principio, el primer paso es explicitar las actividades de flujo, (para conocerlas y buscar un diseño óptimo del proceso) por ejemplo a través de la confección de representaciones conceptuales del flujo del proceso (diagramas de flujo), y luego de ser explicitadas, se deben controlar y en lo posible eliminar.

2. Aumentar el valor del producto a través de la consideración sistemática de las necesidades del cliente

Por medio de este principio se establece el enfoque de valor en la construcción *Lean*. Se debe identificar claramente las necesidades de los clientes (internos y externos)

y esta información debe ser incluida en el diseño del producto y del proceso, además de la gestión de la producción. El enfoque práctico de este principio, según Koskela (1992), está en efectuar un diseño sistemático de los flujos, donde sean definidos los clientes (tanto internos como externos) de cada etapa y sus requerimientos sean evaluados.

3. Reducir la variabilidad

Existen tres tipos de variabilidad envueltos en un proceso de producción:

1. Variabilidad de los procesos anteriores, relacionada con los proveedores.
2. Variabilidad propia del proceso, relacionada con su ejecución.
3. Variabilidad en la demanda, relacionada con los deseos y necesidades de los clientes.

Koskela (1992) presenta dos razones desde el punto de vista de la gestión de procesos para reducir la variabilidad. Primero, desde punto de vista del cliente un producto uniforme es en general más satisfactorio. Taguchi postula que cualquier desviación desde un valor objetivo en el producto resulta en una pérdida para el usuario y para toda la sociedad [Koskela 1992]. De esta manera, la reducción de la variabilidad debería ir más allá de sólo un seguimiento de especificaciones determinadas. Segundo, la variabilidad aumenta la porción de actividades que no agregan valor y el tiempo necesario para ejecutar un producto (tiempo de ciclo).

El enfoque práctico para reducir la variabilidad está basado la teoría estadística de control. Esencialmente, se busca medir la variabilidad de los procesos, y por medio de ese control identificar sus causas y poder eliminarla. La estandarización de actividades mediante la implementación de procedimientos estandarizados es uno de los medios para reducir variabilidad en los procesos de flujo y en los de transformación.

Además puede resultar de utilidad el proteger el proceso de la variabilidad externa [Ballard, 1994]. La constitución de *buffers* entre las actividades es una opción de

protección contra esta variabilidad externa. Esto permite amortiguar la influencia de una actividad sobre la siguiente reduciendo la incertidumbre.

4. Reducir los tiempos de ciclo

El tiempo de ciclo es definido como la suma de los tiempos (transporte, espera, procesamiento, inspección) para producir un determinado producto. Koskela (1992) propone que un flujo de producción puede ser caracterizado por el tiempo de ciclo: el tiempo requerido para un pedazo particular de material cruzar el flujo de actividades.

El razonamiento de mejoramiento en la filosofía *Lean* está en comprimir el tiempo de ciclo, lo que genera la reducción de los tiempos asociados a las actividades de flujo. Además, se presenta las siguientes ventajas adicionales asociadas a este principio:

- Entrega más rápida al cliente.
- Estimaciones de demandas futuras son más precisas.
- Disminuyen las interrupciones del proceso de producción debidos a cambios de órdenes (cambios en la demanda).
- La gestión del proceso se vuelve más simple.
- El efecto de aprendizaje tiende a aumentar.

La aplicación de la reducción del tiempo de ciclo se puede lograr implementando las siguientes acciones [Hopp y Spearman 96][Stalk y Hout 90]:

- Eliminación de actividades de flujo que son parte del ciclo de producción.
- Reducir a un menor número de actividades los grupos de producción (lotes menores), a través del planeamiento y control de la producción.
- Cambiar el *layout* de planta para minimizar los tiempos de transporte y mantener un constante movimiento sincronizando los flujos.
- Reducir la variabilidad

- Cambiar la secuencia de actividades desde una secuencia de precedencia a un modo paralelo (eliminando interdependencias).
- Aislar la etapa del proyecto donde se aporta principal valor al producto.
- Resolver problemas de control y las restricciones que impidan un flujo continuo expedito.

5. Simplificar a través de la reducción del número de etapas, partes y relaciones

Existe una relación directamente proporcional entre el número de etapas o pasos de un proceso y la cantidad de actividades no agregan valor al proceso. Esto se explica a la existencia de tareas auxiliares de preparación y terminación necesarias para cada paso del proceso (Ej. montaje de andamios, limpieza, inspección final, etc.) [Pavez, 2007].

Además Koskela (1992) señala que a medida que un proceso se complejiza es inherentemente menos confiable que un proceso más simple. Además se suma que la capacidad humana para tratar con la complejidad se ve comúnmente comprometida y es fácilmente sobrepasada.

La simplificación puede alcanzarse mediante la eliminación de las actividades que no agregan valor en el proceso de producción, y además reconfigurando las partes o pasos que agregan valor. Para Koskela (1992) la aplicación de este principio de simplificación incluye:

- El acortamiento de los flujos mediante la consolidación de actividades.
- Cambios en diseño o utilización de elementos prefabricados, reduciendo el número de partes en los productos.
- Normalizar partes, materias, herramientas, etc.

- Planificación eficaz del proceso de producción, buscando eliminar interdependencias y desagregar las actividades mayores en pequeñas tareas.
- Minimizar la cantidad de información de control necesaria.

6. Aumentar la flexibilidad de los resultados

Este principio se vincula con el concepto de generación de valor asociado a la filosofía *Lean*. Su enfoque apunta a la posibilidad de alterar de las características de los productos entregados al cliente. Si bien, existen casos, como el de la Industria de la construcción, en que el producto no puede ser mayormente alterado porque viene especificado desde un comienzo por el cliente, se pueden flexibilizar productos intermedios dentro del proceso del producto final, cuando éste no ha sido del todo especificado (Freire, 2000).

Algunas formas de aplicación de este principio son [Hopp y Spearman 96]:

- Reducción de tiempos de ciclo a través de la reducción de tamaños de lotes o grupos de producción.
- Reducir la dificultad en cambios y la estructuración.
- Uso de mano de obra multidisciplinaria, capaz de adaptarse fácilmente a los cambios en la demanda.
- “Customización” del producto lo más tarde posible.
- Utilización de métodos constructivos que permitan la flexibilidad del producto.

7. Aumentar la transparencia de los procesos

Según Koskela (1992) el objetivo de este principio es objetivo hacer que los procesos de producción sean transparentes y observables para facilitar el control y el

mejoramiento. Al aumentar la transparencia de los procesos, existe una tendencia a identificar más fácilmente los errores y a aumentar la información disponible para la ejecución de las tareas. Además este principio, puede funcionar como una manera de aumentar la participación y involucramiento del equipo de trabajo en el proyecto y su mejoramiento.

Las formas de aplicación de este principio son las siguientes [Koskela 1992]:

- Establecer actividades básicas para eliminar la confusión.
- Elaboración de procesos directamente observables mediante layout apropiados.
- Presentación de atributos invisibles (nivel de productividad, número de piezas rechazadas, etc.) del proceso visible, mediante la obtención de indicadores.
- Personificar la información de proceso en áreas de trabajo, herramientas, sistemas de información y materiales.
- Utilizar dispositivos visuales para permitir a cualquier persona reconocer inmediatamente los estándares y desviaciones de ellos.
- Reducir la interdependencia entre las unidades de producción.

8. Enfocar el control en el proceso global

Normalmente el control de flujo se enfoca en el control segmentado de éste. Según Koskela (1992) las dos principales causas que explican esta forma de control son:

- El flujo cruzado entre diferentes unidades en una organización jerárquica.
- El flujo que traspasa una frontera de la organización.

Este sub.-control de los procesos deriva en una sub-optimización de alguna actividad específica. El mejoramiento y optimización de cada actividad no necesariamente conlleva a una optimización colectiva del proceso. Shingo (1988) propone que primero deben implementarse mejoramientos en los procesos (flujos de

ensamblaje, materiales e informaciones) y luego en las operaciones (tareas realizadas por personas y máquinas).

La forma de aplicar este principio tiene como clave principal la necesidad de un cambio de postura de aquellos que están involucrados en la producción y especialmente de aquellos que tienen la apreciación sistemática de los problemas. Es necesario que se comience a ver y analizar el proceso como un todo, en vez de un enfoque meramente centrado en las operaciones.

Según Koskela (1992) existen al menos dos requisitos previos para poder enfocar el control a procesos en forma integral:

- El proceso completo tiene que ser medido y monitoreado
- Debe existir un responsable que controle el proceso completo.

9. Introducir mejoramiento continuo en el proceso

Los esfuerzos de reducción de pérdidas y aumentar el valor son actividades reiterativas, con carácter incremental e interno a la organización. Su ejecución se debe realizar continuamente, existiendo diversas formas de integrar el mejoramiento continuo dentro de una organización [Koskela, 1992]:

- Medir y controlar el mejoramiento de los procesos, por medio de la utilización de indicadores de desempeño.
- Todos los empleados deben recibir responsabilidad en el mejoramiento de los procesos. Esto facilita el mejoramiento desde la unidad de trabajo misma de cada empresa, debiéndose requerir y premiar por medio de una definición clara de prioridades y metas a ser alcanzadas.
- Estandarizar los procedimientos, desafiando el mejoramiento permanente de éstos mismos y rescatándose las mejores prácticas.
- Crear una relación entre mejoramiento y control. El mejoramiento debe enfocarse a identificar las limitaciones actuales de control y los

problemas del proceso, buscándose como objetivo final la eliminación de la raíz de los problemas, más allá de minorizar sus efectos.

10. Mantener un equilibrio entre mejoramiento de los flujos y los mejoramientos de la eficiencia de la conversión

Según Koskela (1992) cualquier proceso de producción tiene diferente potencialidad de mejoramiento en las actividades de conversión versus las actividades de flujo. Por ejemplo, a mayor complejidad del proceso de producción, mayor será el impacto de mejoramiento en los flujos. Además, a mayor pérdida asociada al proceso de producción, lo más recomendable es enfocarse primero en el mejoramiento de los flujos, para posteriormente seguido por el mejoramiento de las conversiones.

Por otra parte, cuando no ha habido mayor control de los procesos de manera sistemática, el potencial más alto de mejoramiento es entorno a las actividades de conversión, implementando nuevas tecnologías en ellas. A su vez, el mejoramiento de las actividades de flujo tiene la ventaja que puede comenzarse con una menor inversión, pero requiriendo un tiempo mayor que el mejoramiento de un actividad de conversión.

Para poder llegar al punto de equilibrio entre ambos mejoramientos es necesario conocer la conexión entre ellos [Koskela 1992]:

- Mejores flujos requieren menos capacidad de conversión, y así menos inversión en nuevas tecnologías.
- Un mayor control de los flujos hace que la implementación de nueva tecnología en los procesos de conversión sea más fácil.
- Nueva tecnología en las actividades de conversión puede proveer de menor variabilidad, lo que beneficiará a las actividades de flujos.

11. Hacer *Benchmarking*

El *benchmarking* es un proceso para evaluar comparativamente los productos, servicios y/o procesos de trabajo en organizaciones. Su objetivo es comparar los productos, servicios y/o procesos de trabajo que evidencien las mejores prácticas sobre el área de interés, buscando transferir el conocimiento de las mejores prácticas y su aplicación.

Los pasos de implementación del *benchmarking* son los siguientes [Camp, 1989]:

- Conocimiento del proceso propio. Esto incluye analizar las fortalezas y las debilidades de los subprocesos.
- Conocer los competidores y quienes son los líderes de la industria.
- Conocer y comprender las mejores prácticas de la competencia, especialmente de los líderes.
- Adaptar las buenas prácticas identificadas en los subprocesos propios.
- Ganar mayor competitividad a través de la combinación de las fortalezas propias y las mejores prácticas externas.

B. ANEXO B: Herramientas *Lean Design*

Equipos Multidisciplinarios

Los equipos multidisciplinarios son la unidad organizacional para todas las fases de LPDS [Ballard y Zabelle, 2000]. Además del equipo normal de diseño donde se incluyen todas las especialidades vinculadas al proyecto, participan todos aquellos que intervendrán en el proyecto en el futuro (constructores y proveedores). Es importante que todos, incluido el cliente, se involucren en las decisiones claves en torno al proyecto que son ejecutadas desde la concepción misma de éste. De acuerdo a Ballard y Zabelle (2000), no es posible hacer perpetuamente mega reuniones orientadas al trabajo, por lo que es necesario dividirlo. En general se recomienda, alternar reuniones para lograr acuerdos y tomar decisiones con todo el equipo y reuniones de trabajo en equipos más pequeños donde se ejecutan las tareas identificadas y acordadas en las reuniones globales.

Reducir el tamaño de los lotes de trabajo de diseño

En el proceso tradicional de diseño, cada especialidad transmite información de diseños completos, con muy poca o nula consideración de las necesidades de otras especialidades o el cliente. Las decisiones de diseños y los *outputs* del proceso son agrupados sin integrar el proceso constructivo y cada especialidad hace su trabajo en forma separada y atemporal. Lo que se requiere es dividir los resultados de diseño y comunicarlos en forma más frecuente, para permitir avanzar en otros procesos de diseño a la vez. Esto lo que produce es disminuir los grupos de tareas o lotes de trabajo acelerándose el proceso de diseño. Además al comunicarse en forma más frecuente, se comienza a aprender a compartir información incompleta de diseño entre distintos especialistas. Por ejemplo, un ingeniero mecánico podría estar muy contento de saber que las tasas de calor podrían cambiar y poder retrasar decisiones de diseño que pueden

ir asociadas a esa información o diseñar en forma redundante si no existiera tiempo para retrasar las decisiones de diseño [Ballard y Zabelle, 2000].

Estrategias para la minimización de iteraciones negativas

Las estrategias para minimizar las iteraciones negativas apuntan a reestructurar el proceso de diseño y su forma de gestionarlo [Ballard y Zabelle, 2000]:

1. Reestructurar el proceso de diseño
 - a. Usar la matriz estructurada de diseño (DSM) para re-secuenciar el proceso de diseño. La herramienta DSM será tratada en la sección 3.4.1.
 - b. Usar planificación por fases para disminuir los tamaños de los lotes de trabajo y lograr mejores secuencias de trabajo. La herramienta de planificación por fases será tratada en la sección 3.4.3.

2. Reorganizar el proceso de diseño
 - a. Adoptar los grupos multifuncionales como unidad organizacional.
 - b. Usar resolución de problemas grupales y acelerar las interacciones. Al aumentar y acelerar el nivel de interacción entre especialistas se agrega más valor, minimizando las iteraciones negativas en el proceso.
 - c. Compartir un rango de soluciones aceptables.
 - d. Compartir información incompleta.

3. Cambiar la forma en que el diseño es gestionado
 - a. Buscar una estrategia en bases a compromisos
 - b. Aplazar completar el diseño hasta que los ítems críticos de información hayan sido adquiridos.
 - c. Usar el sistema del último planificador de control de producción. Esta herramienta será tratada en la sección 3.4.4.

4. Sobre-diseñar (diseño redundante)
 - a. Cuando todo lo demás falla o cuando es vital la reducción de plazos y no pueden ser alcanzados de otra forma.

Analizar varias alternativas de diseño a la vez

El diseño de varias alternativas a la vez (*set-based design*, SBD), nace como estrategia para el desarrollo de productos en Toyota. Lo que buscan en esta empresa es prevenir que sus ingenieros tomen decisiones tempranas con respecto al diseño. Esta forma de orientar el desarrollo de productos en Toyota ha significado que produzcan 5 veces más prototipos que sus competidores y que coloquen nuevos productos a una tasa superior [Ballard y Zabelle, 2000]. Se estima que estos resultados se deben a que Toyota ha minimizado sus interacciones negativas, por lo que el tiempo que invierte en agregar valor a sus productos por medio de SBD, es una reasignación del tiempo que antes era perdido en el proceso. Es decir, el tiempo que no agregaba valor al proceso, ahora agrega valor por medio de múltiples soluciones. Esta agregación de valor se debe a que al llevar a cabo varias alternativas de diseño a la vez, se invierte mayor tiempo en análisis que pueden contribuir a mejores decisiones de diseño.

Los principios que rigen SBD son los siguientes [Ballard y Zabelle, 2000]:

1. **Mapear el espacio de diseño:** establecer los rangos de conjunto de alternativas y/o valores de diseño para ser manejados en el futuro. Todos los involucrados en el proceso de diseño pueden crear alternativas siempre y cuando cumplan con estos límites.
2. **Integrar por intersección:** buscar soluciones en las intersecciones de conjuntos o intervalos. Por ejemplo, pueden ser dadas varias dimensiones para el ensamblado de componentes de un vehículo como la carrocería, el tablero y los asientos. La búsqueda de una solución está enfocada en los valores que optimizan estas dimensiones para los tres componentes.

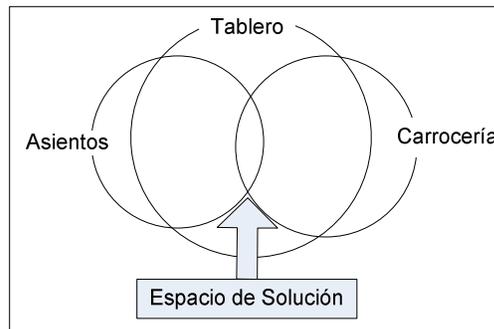


Figura B-1: Integrar por intersección
(Adaptado [Ballard & Zabelle, 2000])

3. **Establecer la factibilidad del diseño antes que el compromiso:** Este principio se refiere a que en SBD la contribución al diseño puede invalidar todo el trabajo hecho previamente. A diferencia de la forma tradicional de diseño en la que el diseñador está obligado a ser fiel al diseño preexistente.

Según Ward y Sobek (1999) algunos de los beneficios de usar SBD son:

1. Posibilita una comunicación confiable y eficiente.
2. Se pierde muy poco tiempo en diseños detallados que no pueden ser construidos.
3. Reduce el número y la extensión de las reuniones.
4. Basa las decisiones más importantes y críticas en datos e información clara y objetiva.
5. Promueve el aprendizaje institucional
6. Ayuda a retrasar las decisiones en aquellos puntos con mayor variabilidad en sus valores hasta que estos se vuelven esenciales para el avance del proyecto.
7. Se evitan conflictos sin sustento e interacciones de negociación innecesarias.
8. Quien inicia un cambio sigue siendo el responsable de mantener la consistencia en el diseño.

Compartir información incompleta

Normalmente en el proceso de diseño, cada disciplina comparte su información sólo cuando el trabajo está completo. Por el contrario, el diseño concurrente requiere compartir en forma frecuente y abierta información incompleta, para que de esta manera cada miembro del equipo pueda opinar y entregar sus criterios con respecto al trabajo que queda por hacer. Una forma de poder implementar esta nueva forma de trabajo en una organización, es crear equipos multidisciplinarios que trabajen juntos en diversos proyectos [Ballard y Zabelle, 2000].

Diseño simultáneo de productos y procesos

Se busca considerar y decidir en forma simultánea cómo construir algo y qué construir. El desafío frente a este postulado es el cambio que debe hacerse frente a la forma tradicional de trabajo, en la cual se acostumbra a realizar el diseño del producto primero y después otro profesional o equipo define cómo construirlo. Para lograr esta integración es necesario educar a las distintas entidades del equipo: que los diseñadores entiendan y consideren los criterios constructivos y los constructores hagan lo mismo en términos de los criterios de diseño de productos, para que pueda existir un entendimiento y consenso en el diseño de ambos en forma simultánea.

Encargar el diseño detallado a los contratistas

Normalmente los contratistas de cada especialidad deben realizar instrucciones detalladas para la fabricación e instalación de materiales y componentes. Probablemente antes de esas instrucciones, otras fueron realizadas por el diseñador que terminaron siendo descartadas por el contratista. Por lo anterior, una forma de reducir las pérdidas en diseño es que los diseñadores no generen estas instrucciones de diseño detallado. Por ejemplo, si existe un ingeniero mecánico en el diseño, quien es distinto al contratista, se debería dedicar sólo a esbozar líneas generales de la ruta de los ductos y que el contratista defina en detalle la ruta a utilizar [Ballard y Zabelle, 2000].

Calidad orientada al cumplimiento de criterios no a la conformidad de requerimientos

En general, la industria al evaluar los resultados de diseño, fija su atención en si éste cumple con estándares permanentes y preestablecidos en la empresa, asumiendo que esos estándares han sido apropiadamente definidos. Normalmente no existe un ajuste de estos estándares a las necesidades de los *stakeholders* frente a posibles cambios en condiciones o conocimiento en general, o en el caso de que surja una mejor idea de qué y cómo hacerlo. Es necesario comprender que los estándares ya definidos, se pueden modificar en beneficio de agregar valor al producto y/o proceso que se esté diseñando.

Matriz Estructurada de Diseño (DSM)

Como se ha dicho anteriormente, para optimizar los procesos es necesario maximizar el valor por medio de interacciones positivas y minimizar las pérdidas que producen las iteraciones negativas. Estos objetivos se logran mediante la oportuna síntesis de la información que se requiere para que los equipos puedan tomar decisiones y agregar valor. En este contexto, la Matriz Estructurada de Diseño (DSM) es una herramienta para representar, analizar y descomponer sistemas complejos, con el objetivo de mejorar su desempeño. Les permite a los equipos de diseño racionalizar sus procesos e identificar situaciones en que es necesario generar interacciones entre diversos actores, por medio de reuniones de trabajo o *brainstorming* para una obtención más rápida de retroalimentación. Su principal objetivo es lograr que el equipo estructure una secuencia óptima de trabajo, de manera tal que los diseñadores puedan identificar las eficiencias generales de los procesos a través de la planificación del trabajo y minimización del trabajo rehecho innecesario [Browning, 2001]. De esta manera los equipos logran conocer las estimaciones a usar, cómo llevar en marcha las interacciones y revisiones de diseño y cómo fluye la información en el trabajo de diseño [Tuholski y Tommelein, 2008].

La Matriz Estructurada de Diseño (DSM) es una representación de un proyecto. La matriz contiene una lista de todas las actividades y los correspondientes patrones de intercambio de información. Es decir, se puede conocer dónde cierta información (parámetros) es necesaria para iniciar una determinada actividad “A” y a qué tareas debe ir la información generada por la misma.

En la figura 3-7 se presenta un ejemplo de DSM [www.dsmweb.org]. Las letras representan distintas actividades en un proyecto. La marca X indica la existencia y la dirección del flujo de información (o algún tipo de dependencia en general) de una actividad en el proyecto a otra.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
A														
B	X													
C	X	X												
D			X											
E	X	X	X											
F			X	X	X									
G	X	X	X			X		X	X					
H	X	X				X	X		X					
I							X	X						
J					X		X		X					
K								X						
L							X	X			X			
M					X						X			
N										X		X	X	

Figura B-2: Ejemplo DSM
(Adaptado www.dsmweb.org)

Al leer a través de una fila, se revela un flujo de entrada/dependencia al ubicar una marca X. La actividad que debe generar el flujo es aquella que intersecta la X en sus columnas. De esta manera, cuando se lee a través de una columna se revela la información sobre los productos que se deriva de la actividad a otras actividades. Por ejemplo, al evaluar la situación de la actividad “C” en la matriz anterior, podemos

observar que “C” se basa en la información de las actividades “A” y “B” y entrega información a las actividades “D”, “E”, “F” y “G”. Las marcas X negras (por debajo de la diagonal) representan el futuro flujo de información. Las marcas X rojas (por encima de la diagonal) muestran una retroalimentación posterior (es decir, aguas abajo) a una actividad anterior (es decir, aguas arriba). Esto significa que la primera actividad debe ser repetida o rehecha, a la luz de la nueva información. Este proceso iterativo es común en la mayoría de los proyectos de diseño y desarrollo de ingeniería. Las iteraciones en el diseño generan trabajo rehecho y revisión adicional, además de mayor necesidad de comunicación y negociación, lo que resulta en un prolongado proceso de desarrollo. Con el fin de acelerar este proceso iterativo de diseño, la metodología de DSM sugiere la manipulación de elementos de la matriz, para eliminar el comportamiento iterativo, o al menos reducirlo al mínimo.

En la figura 3-8 se presenta un resumen de los tipos de configuraciones que se pueden presentar en la matriz en base a las relaciones de dependencia que presenten las actividades o ítems evaluados.

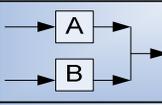
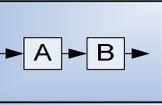
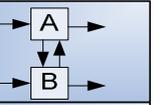
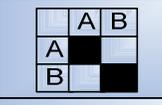
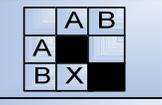
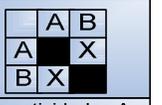
Relación	Paralelas	Secuenciales	Acopladas
Representación Gráfica			
Representación DSM			
Dependencias	No hay dependencias	B es dependiente de A	Las actividades A y B son interdependientes

Figura B-3: Representación esquemática DSM
(Adaptado www.dsmweb.org y [Tuholski y Tommelein (2008)])

La metodología de DSM se basa en tres pasos. Los primeros dos se enfocan a generar la representación de los procesos en la matriz y el último tiene un fin analítico para el mejoramiento del proceso [Tuholski y Tommelein, 2008]. A continuación se detallan los pasos:

1. Descomponer el proceso de diseño en actividades discretas, identificando las entradas y las salidas de cada una de ellas, y las dependencias de información entre sí.
2. Ingresar las actividades en la matriz cuadrada y establecer las dependencias por medio de una marca binomial como una X o 1. Si se desea dar una ponderación según la relevancia de la dependencia se pueden usar marcas numéricas de 0 a 1. Existen versiones más avanzadas de la DSM en que se utilizan la escala Linkert o similar.
3. Triangular la matriz. Se requiere que las iteraciones sobre la diagonal desaparezcan o se minimicen. Para esto existen métodos manuales y automáticos.

La herramienta de DSM también puede ser utilizada para identificar que áreas o integrantes del equipo necesitan interactuar entre si a lo largo del proceso. Por ejemplo, en la figura 3-9 las letras pueden ser especialidades o integrantes del equipo de diseño. En la figura 3-9 A) se muestran los resultados de la representación de la situación inicial del proyecto. En la figura 3-9 B) se muestra cómo después de aplicar la metodología de DSM se logran agrupar las especialidades según las dependencias que existen entre cada una de acuerdo a sus propios procesos, pudiendo secuenciar el trabajo en tres lotes claros y ordenados de trabajo y generando las instancias para poder acelerar las interacciones de valor entre los actores dependientes.

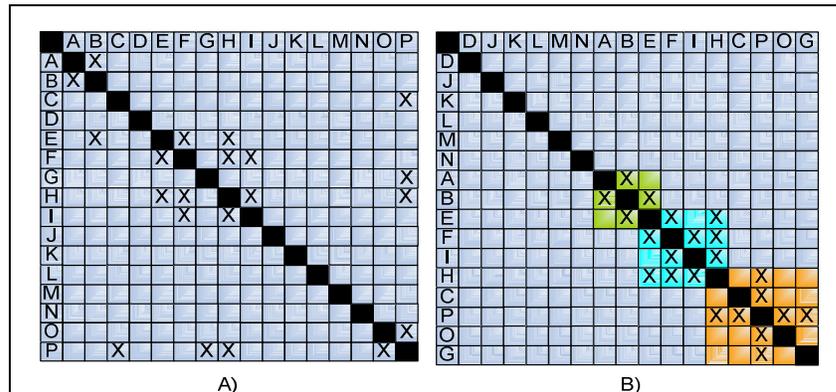


Figura B-4: Ejemplo de intervención con DSM
(Adaptado www.dsmweb.org)

Según Eppinger (2001) existen cuatro oportunidades de mejoramiento de la gestión de información en el proyecto por medio de la DSM. Se presentan a continuación en orden para ser consideradas en su aplicación:

1. Reestructurar las secuencia de las actividades.
2. Revisar la organización y definición de las tareas.
3. Optimizar el flujo de información entre actividades.
4. Identificar e incorporar trabajo no planificado.

Al implementar estas mejoras en el proyecto se han observado los siguientes beneficios [Tuholski y Tommelein, 2008]:

- Aumento de la concurrencia de actividades.
- Disminución de iteraciones negativas.
- Proporción de información sobre la definición de actividades e iteraciones.
- Disminución de actividades que no agregan valor al proceso.
- Facilitación del intercambio de información incompleta entre especialidades dependientes.
- Optimización en el tamaño de los lotes de trabajo de diseño.

C. ANEXO C: Experiencia y desarrollo sesiones XC en Caso de Estudio

En el caso de estudio se implementaron cinco sesiones XC a lo largo de la aplicación de MIGD. Las dos primeras sesiones XC realizadas tenían como objetivo principal lograr la primera propuesta de productos de entrepiso, techumbre y muro del proyecto en cuestión, para que ésta fuera expuesta a los distintos expertos durante las misiones realizadas a Canadá y Nueva Zelanda. Las sesiones XC 3 y 4 se orientaban a obtener las soluciones definitivas a ser ensayadas y evaluadas a lo largo del resto del proyecto, además del plan de ensayos normados a realizar en cada una de ellas. Con respecto a la sesión XC 5 esta tenía como objetivo generar las especificaciones de diseño para las casas prototipos en que se evaluarían, experimentalmente y en su conjunto, las soluciones constructivas elegidas previamente en las sesiones XC 3 y 4.

A lo largo de las sesiones XC 1, 2, y 3 se trabajó en tres mesas distintas, de acuerdo a especialidad.

Tabla C-1: Distribución de mesas de trabajo

N° Mesa	Especialidad a discutir	Especialistas involucrados
1	Costos, Estructuras	Área Estructuras y Construcción Participantes de la Industria
2	Eficiencia Energética, Comportamiento Físico Ambiental	Área Comportamiento Físico Ambiental
3	Industria e Inmobiliaria	Área Transferencia tecnológica y Participantes de la Industria

En el caso de la sesión XC 4, sólo se trabajó en una mesa conjunta de trabajo, dada la cantidad de participantes (6 especialistas). En el caso de la sesión XC 5 se dividió el trabajo en dos mesas multidisciplinarias, para la discusión de cada uno de los parámetros elegidos de diseño, llegando así a las especificaciones generales del diseño de prototipos.

Hay que destacar que posterior a las sesiones XC 1 y 2 se implementó la gestión de compromisos en base a la planificación por fases.

Desarrollo de las Etapas de Trabajo XC

Etapa previa sesión XC 1

El objetivo de esta etapa era que se presentaran ideas desde todos los actores del proyecto, compartiendo cada una de ellas por medio de una FTP, generándose una retroalimentación constante del resto de los miembros del equipo. En la práctica, este proceso se presentó de manera lenta, debido a que por la falta de conocimiento y costumbre de esta forma de trabajo, no se produjo el intercambio necesario y sólo remitió el trabajo a generar ideas en forma particular, que incluso en ciertos casos sólo fueron presentados en la sesión extrema y no en esta etapa previa, generándose un flujo de información e intercambio bastante menor del esperado.

Sesión XC 1

Tabla C-2: Ficha resumen sesión XC 1

Sesión XC 1	Objetivos	
	<ol style="list-style-type: none"> 1. Evaluar estimativa y cualitativamente cada propuesta en función de: costos, comportamiento estructural y físico ambiental, constructabilidad, interés de proveedores e inmobiliarias, y finalmente, innovación y generación de patentes. 2. Generar la programación intermedia del proyecto hasta la sesión XC 2 con compromisos y responsables 3. Realizar evaluación de desempeño hasta la fecha y lecciones aprendidas. 	<p>Participantes: 22 especialistas en:</p> <ul style="list-style-type: none"> • costos • estructuras • planificación • comportamiento físico-ambiental • arquitectura • representantes de 7 empresas proveedoras
	<p>Nivel de Cumplimiento de Objetivos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sólo cumplimiento objetivo N°1. • A pesar de cumplirse sólo un objetivo, esto significó un importante avance en el desarrollo del proyecto, pues se logró definir las bases para poder continuar con las siguientes fases de trabajo. • Se evaluaron un total de 27 propuestas iniciales de productos y se llegó a un consenso de 10 hipótesis de diseño, en las que se incluían los criterios de todas las áreas de expertos, además de los distintos representantes de la industria presentes. 	<p>Duración sesión: Estimada: 6 hrs. Real: 8 hrs.</p>
	<p>Implementación espacio físico y de las redes de intercambio humana y electrónica</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sala con tres mesas de trabajo, dos pantallas con respectivos proyectores y dos pizarras. • Cada participante aportó con su computador personal. • Red wifi especial para el equipo del proyecto. Presentó algunas complicaciones por las configuraciones de los computadores personales de cada participante. • El uso de los medios descritos facilitó la discusión. • Falta de respaldado en tiempo real en la red electrónica de análisis realizados. Primero por problemas en la red wifi y en segundo lugar por falta de costumbre en la forma de trabajo. • El intercambio de información entre las distintas especialidades no se presentó en el momento de trabajo en mesa. • El intercambio de evaluación y mejoramiento se produjo en una instancia de discusión colectiva, donde se recopilieron las distintas impresiones, llegando a un consenso final para las 10 hipótesis de diseño con las que seguiría trabajando. 	

Fotografías de Sesión XC 1



Fotografía C-1: Intercambio durante las presentaciones de las distintas propuestas al comienzo de la sesión



Fotografía C-2: Vista general durante el trabajo en mesas



Fotografía C-3: Intercambio en la mesa de trabajo N°1



Fotografía C-4: Intercambio en la mesa de trabajo N°2



Fotografía C-5: Intercambio en la mesa de trabajo N°3



Fotografía C-6: Intercambio entre mesa 1 y 2



Fotografía C-7: Matriz de Evaluación base en formato digital



Fotografía C-8: Igualmente se trabaja sobre papel frente a la falta de costumbre de hacerlo en manera digital



Fotografía C-9: Existió un permanente uso de los pizarrones para el intercambio y recopilación de ideas

Etapa previa sesión XC 2

La etapa previa a la sesión 2 tenía como objetivo generar un mejoramiento continuo de las propuestas además de crear los modelos computacionales de evaluación que se utilizarían durante la sesión 2.

Esta etapa cumplió cabalmente con el diseño de los modelos computacionales de evaluación. Si bien estos son bastante simples, no era necesaria mayor complejidad para el tipo de evaluación preliminar que se estaba llevando a cabo. Los modelos de comportamiento físico ambiental y estructuras cumplieron con las exigencias impuestas. En término del modelo de evaluación de costos, si bien éste cumple con criterios de evaluación en base a precios unitarios de construcción de cada una de las propuestas, no considera el costo que se puede evitar en cuanto a soluciones que sean de una mayor constructabilidad y que por ende disminuyan los costos generales de construcción. Por este motivo, se considera que es necesario seguir perfeccionándolo en este sentido.

Sesión XC 2

Tabla C-3: Ficha resumen sesión XC 2

Sesión XC 2	Objetivos	Participantes: 23 especialistas en: • costos • estructuras • planificación • comportamiento físico-ambiental • arquitectura • representantes de 5 empresas proveedoras
1. Evaluaciones cuantitativas de las hipótesis de diseño de la sesión XC 1 por medio de modelos. 2. Selección de hipótesis de diseño finales mediante evaluación cualitativa y cuantitativa de ambas sesiones. 3. Generación de la programación intermedia del proyecto hasta la sesión XC 3 con compromisos y responsables.		Duración sesión: Estimada: 4 hrs. Real: 5 hrs.
Nivel de Cumplimiento de Objetivos <ul style="list-style-type: none"> • No se completó ningún objetivo. • Las presentaciones de los modelos y los diseños concensuados se extendieron bastante más de lo programado (alrededor de 4 horas). • Análisis y discusiones extensas sobre lo evaluado en la sesión XC 1 causaron pérdida del enfoque en los objetivos. • La cantidad de trabajo que implicaba evaluar cada alternativa con los modelos era demasiado alta. • Término de los objetivos en forma independiente de cada área o especialidad, utilizando una metodología de trabajo tradicional. 		
Implementación espacio físico y de las redes de intercambio humana y electrónica <ul style="list-style-type: none"> • Sala con tres mesas de trabajo, dos pantallas con respectivos proyectores y dos pizarras. • Cada participante aportó con su computador personal. • Red wifi especial para el equipo del proyecto. Por problemas presentados en sesión XC 1 se citó a los participantes una hora antes para poder configurar sus computadores y así todos pudieran estar conectados a la red. • Falta de costumbre en el uso de modelos en sesiones de trabajo conjunto provocaron un flujo lento en las actividades. • Falta de respaldoado en tiempo real en la red electrónica de análisis realizados. 		

Fotografías de Sesión XC 2



Fotografía C-10: Vista de mesas 1 y 2



Fotografía C-11: Interacción entre mesas 1 y 2



Fotografía C-12: Trabajo en la mesa 2



Fotografía C-13: Trabajo de mesa 3

Etapa previa sesión XC 3

La etapa previa a la sesión 3 tenía como objetivo generar documentación que facilitara el trabajo durante la sesión de trabajo. Los insumos sobre los que se trabajaron fueron:

- Ficha por producto con opiniones cualitativas y cuantitativas de cada una de las mesas de trabajo.
- Planes de ensayos tentativos para ser reevaluados en el momento que se conocieran las soluciones definitivas a estudiar.

En esta etapa se cumplió cabalmente con ambos insumos previamente definidos.

Sesión XC 3

Tabla C-4: Ficha resumen sesión XC 3

Sesión XC 3	Objetivos	
	1. Determinación de la influencia relativa de cada área en una función de calidad. 2. Calificación de cada especialidad de las opciones de diseño presentes. 3. Obtención de un ranking de las soluciones de diseño estudiadas en sesiones anteriores, utilizando las ponderaciones y calificaciones obtenidas.	Participantes: 23 especialistas en: <ul style="list-style-type: none"> • costos • estructuras • planificación • comportamiento físico-ambiental • arquitectura • representantes de 5 empresas proveedoras
	Nivel de Cumplimiento de Objetivos <ul style="list-style-type: none"> • Se cumplieron todos los objetivos. • La entrega de documentación preestablecida fue un factor decisivo en el éxito de la sesión. 	Duración sesión: Estimada: 4 hrs. Real: 4 hrs.
	Implementación espacio físico y de las redes de intercambio humana y electrónica <ul style="list-style-type: none"> • Sala con tres mesas de trabajo. Una pantalla de proyección utilizada durante las presentaciones. • No se trabajó en forma virtual, pues había sido una limitante en sesiones anteriores. Un miembro del equipo debía digitalizar las evaluaciones de todos y posteriormente hacer el análisis necesario. • En ocasiones se deseaba volver al trabajo de sesiones anteriores. Fue de vital importancia la intervención del facilitador aclarando que el punto ya había sido zanjado y que se debía avanzar en lo que correspondía a esta sesión. Sin embargo, se invertía un tiempo valioso en explicaciones a los miembros de la sesión que no habían asistido en instancias anteriores. • Las mesas de trabajo con menor número de participantes llegaban a acuerdo más rápidamente. Mantenían un mejor enfoque en la finalidad del trabajo asignado. 	

A continuación se presentan los resultados recopilados en la sesión XC 3:

- Ponderaciones para los parámetros de diseño

- Evaluación de las soluciones de diseño en base a las ponderaciones de los parámetros de diseño.
- *Ranking* de soluciones.

Tabla C-5: Resultados Sesión XC 3- Ponderaciones

NOMBRE		EMPRESA	AREA 1		AREA 2		AREA 5	
1	Lorena Rubio	Volcan	30%	1	40%	1	30%	1
2	Leonardo Meza	C.Civil UC	20%		60%		20%	
3	Paula Martinez	Esc. Arg. UC	30%	1	40%	1	30%	1
4	Benjamin Navarrete	C.Civil UC	50%		25%		25%	
5	Juan Jose Ugarte A.	Esc. Arg. UC	20%		50%		30%	1
6	M. Elena Mora	C.Civil UC	30%	1	30%		40%	
7	NN	xxx	25%		50%		25%	
8	NN	xxx	30%	1	40%	1	30%	1
9	NN	xxx	25%		45%		30%	1
10	NN	xxx	40%		30%		30%	1
11	Leonardo Veas	C. Civil UC	30%	1	40%	1	30%	1
12	Victoria Saud	FADEU UC	20%		60%		20%	
13	Enrique McManus	ARAUCO	25%		50%		25%	
14	Nicholas +	CadWork	0%		50%		50%	
15	Carlos Gallardo	Cluster Araucania	25%		50%		25%	
16	Francisco Zamora	Volcan	20%		40%	1	40%	
17	Rafael Insunza	Cluster Araucania	30%	1	40%	1	30%	1
18	NN	xxx	30%	1	40%	1	30%	1
19	Juan Jose Ugarte G.	CIDM UC	30%	1	40%	1	30%	1
			30%	8	40%	8	30%	10

Tabla C-6: Resultados Sesión XC 3-Evaluación de Productos

AREA 1 ESTRUCTURAS Y CONSTRUCTABILIDAD				AREA 2 COMPORTAMIENTO FISICOAMBIENTAL				AREA 5 MERCADO INMOBILIARIO E INDUSTRIA				33/33/33				50/20/30				20/60/20				25/50/25				30/40/30			
ENTREPISO		TECHUMBRE		ENTREPISO		TECHUMBRE		ENTREPISO		TECHUMBRE		ENTREPISO		TECHUMBRE		ENTREPISO		TECHUMBRE		ENTREPISO		TECHUMBRE		ENTREPISO		TECHUMBRE		ENTREPISO		TECHUMBRE	
E1	3	T1	6	E1	7	T1	3	E1	5	T1	5	E1	5.0	T1	4.7	E1	4.4	T1	5.1	E1	5.8	T1	4.0	E1	5.5	T1	4.3	E1	5.2	T1	4.5
E2	4	T2	7	E2	4	T2	10	E2	2	T2	9	E2	3.3	T2	8.7	E2	3.4	T2	8.2	E2	3.6	T2	9.2	E2	3.5	T2	9.0	E2	3.4	T2	8.8
E3	7	T3	5	E3	1	T3	6	E3	1	T3	4	E3	3.0	T3	5.0	E3	4.0	T3	4.9	E3	2.2	T3	5.4	E3	2.5	T3	5.3	E3	2.8	T3	5.1
E4	6	T4	1	E4	9	T4	2	E4	3	T4	1	E4	6.0	T4	1.3	E4	5.7	T4	1.2	E4	7.2	T4	1.6	E4	6.8	T4	1.5	E4	6.3	T4	1.4
E5	8	T5	10	E5	8	T5	7	E5	8	T5	3	E5	8.0	T5	6.7	E5	8.0	T5	7.3	E5	8.0	T5	6.8	E5	8.0	T5	6.8	E5	8.0	T5	6.7
E6	5	T6	4	E6	5	T6	9	E6	9	T6	6	E6	6.3	T6	6.3	E6	6.2	T6	5.6	E6	5.8	T6	7.4	E6	6.0	T6	7.0	E6	6.2	T6	6.6
E7	9	T7	3	E7	3	T7	8	E7	7	T7	2	E7	6.3	T7	4.3	E7	7.2	T7	3.7	E7	5.0	T7	5.8	E7	5.5	T7	5.3	E7	6.0	T7	4.7
E8	2	T8	9	E8	6	T8	4	E8	6	T8	8	E8	4.7	T8	7.0	E8	4.0	T8	7.7	E8	5.2	T8	5.8	E8	5.0	T8	6.3	E8	4.8	T8	6.7
E9	1	T9	8	E9	2	T9	1	E9	4	T9	10	E9	2.3	T9	6.3	E9	2.1	T9	7.2	E9	2.2	T9	4.2	E9	2.3	T9	5.0	E9	2.3	T9	5.8
		T10	2			T10	5			T10	7		0.0	T10	4.7			T10	4.1	E10		T10	4.8	E10	5.5	T10	4.8	E10	0.0	T10	4.7

Tabla C-7: Resultados Sesión XC 3-Ranking de Soluciones

	A1	A2	A5		RANKING	
E1	7	3	5	4.8	5	
E2	6	6	8	6.6	3	
E3	3	9	9	7.2	2	
E4	4	1	7	3.7	8	
E5	2	2	2	2	9	
E6	5	5	1	3.8	7	
E7	1	7	3	4	6	
E8	8	4	4	5.2	4	
E9	9	8	6	7.7	1	
T1	6	5	8	6.2	4	
T2	2	4	1	2.5	10	
T3	7	6	5	6	5	
T4	10	10	9	9.7	1	
T5	8	1	4	4	8	
T6	5	7	2	4.9	6	
T7	9	8	3	6.8	2	
T8	3	1	7	3.4	9	
T9	1	3	10	4.5	7	
T10	4	9	6	6.6	3	

Fotografías de Sesión XC 3



Fotografía C-14: Presentación de metodología de trabajo para definición de ponderadores



Fotografía C-15: Discusiones de criterios con la industria



Fotografía C-16: Se generan conversaciones paralelas que se convierten en un aporte posterior al grupo



Fotografía C-17: Trabajo en mesas



Fotografía C-18: Trabajo en mesa de Industria



Fotografía C-19: Trabajo de mesa de comportamiento físico ambiental



Fotografía C-20: Trabajo en mesa de construcción y estructuras

Etapa previa sesión XC 4

La etapa previa a la sesión XC 4 es la misma que para la sesión XC 3, puesto que la sesión XC 4 tuvo lugar inmediatamente después de la sesión XC 3.

Sesión XC 4

Tabla C-8: Ficha resumen sesión XC 4

Sesión XC 4	Objetivos	
	<ol style="list-style-type: none"> 1. En base al ranking establecido en la sesión XC 3, determinar los ensayos necesarios a realizar en cada hipótesis de diseño en términos estructurales y comportamiento físico ambiental. 2. De las hipótesis de diseño seleccionadas, determinar cuáles serán ensayadas considerando el costo de las pruebas establecidos en el objetivo 1 y el presupuesto asignado para esta actividad. 3. Realizar el diseño preeliminar de las probetas de ensayo. 	<p>Participantes: 6 especialistas en:</p> <ul style="list-style-type: none"> • estructuras • planificación • comportamiento físico-ambiental • arquitectura
	Nivel de Cumplimiento de Objetivos	<p>Duración sesión: Estimada: 3 hrs. Real: 1,5 hrs.</p>
	<ul style="list-style-type: none"> • Se cumplieron los 3 objetivos en forma parcial. Sólo se realiza el plan de ensayos en términos estructurales y no en físico ambientales. • Esta sesión tuvo lugar dos horas después de la sesión XC 3, por lo que había un importante nivel de cansancio de los participantes. 	
	Implementación espacio físico y de las redes de intercambio humana y electrónica	
	<ul style="list-style-type: none"> • Una mesa de trabajo. • 3 computadores, un tablet pc, una pantalla de proyección y dos proyectores. • La inclusión de un tablet pc para el diseño de las probetas de ensayo, permitió el trabajo digital directamente, evitando las tareas rehechas y generando un flujo más dinámico en las actividades a realizar. 	

A continuación se presenta el plan de ensayos y los bosquejos de las probetas realizados durante la sesión.

Tabla C-9: Resultados Sesión XC 4- Evaluación de Plan de Ensayos Estructurales

PROD.	Ensayo	Elemento	Nº de Probetas	Luz (m)	Ancho (m)	Norma	Costo Aprox. (UF)
E-9	Flexión	Ensamble de piso Tipo 1	2	4	1.2	No	40
E-3	Flexión	Ensamble de piso Tipo 2	2	4	1.4	No	40
E-2	Flexión	Ensamble de piso Tipo 3	2	4	1.2	No	40
E-3	Corte Diafragma	Ensamble de piso	2	2	2	No	80
V-1	Flexión	Viga aserrada	2	4	-	No	16
V-2	Flexión-Corte	Viga aserrada	2	2	-	No	16
V-3	Flexión	I-Joist	2	4	-	No	16
V-4	Flexión-Corte	I-Joist	2	2	-	No	16
T-4	Ensayo Conexiones	Cercha Tipo 1	2	6	-	No	40
T-7	CALCULO Flexión	Cercha Tipo 2			-		
T-10	CALCULO Flexión	Cercha Tipo 3			-		
M-1	Corte Puro	Muro límite	2	2.4	2.4	NCh802-70	18
M-4a	Corte Puro	Muro límite	2	2.4	2.4	NCh802-70	18
M-4b	Corte Puro	Muro límite	2	2.4	2.4	NCh802-70	18
M-5 nz	Corte Puro	Muro límite	2	2.4	2.4	NCh802-70	18
M-1	Compresión	Muro límite	2	2.4	2.4	NCh801-03	18
M-4a	Compresión	Muro límite	2	2.4	2.4	NCh801-04	18
M-4b	Compresión	Muro límite	2	2.4	2.4	NCh801-05	18
M-5 nz	Compresión	Muro límite	2	2.4	2.4	NCh801-06	18
M-1	Impacto	Muro límite	2	2.4	2.4	NCh804-02	14
M-4a	Impacto	Muro límite	2	2.4	2.4	NCh804-03	14
M-4b	Impacto	Muro límite	2	2.4	2.4	NCh804-04	14
M-5 nz	Impacto	Muro límite	2	2.4	2.4	NCh804-05	14
M-1	Cíclico	Muro límite	2	2.4	2.4	No	30
M-4a	Cíclico	Muro límite	2	2.4	2.4	No	30
M-4b	Cíclico	Muro límite	2	2.4	2.4	No	30
M-5 nz	Cíclico	Muro límite	2	2.4	2.4	No	30
M-1	Corte-Flexión	Muro límite	2	2.4	2.4	No	18
M-4a	Corte-Flexión	Muro límite	2	2.4	2.4	No	18
M-4b	Corte-Flexión	Muro límite	2	2.4	2.4	No	18
M-5 nz	Corte-Flexión	Muro límite	2	2.4	2.4	No	18
M-1	Flexión normal	Muro límite	2	2.4	2.4	No	40
M-4a	Flexión normal	Muro límite	2	2.4	2.4	No	40
M-4b	Flexión normal	Muro límite	2	2.4	2.4	No	40
M-5 nz	Flexión normal	Muro límite	2	2.4	2.4	No	40
PF	Flexión - E	Probeta pequeña	66	-	-	NCh987-86	132
PC	Compresión	Probeta pequeña	66	-	-	NCh176/1-84	15
PH	Humedad	Probeta pequeña	66	-	-	NCh802-70	132
CN	Conector de corte	Probeta pequeña	4	-	-	No	32
Costo Total UF							1167

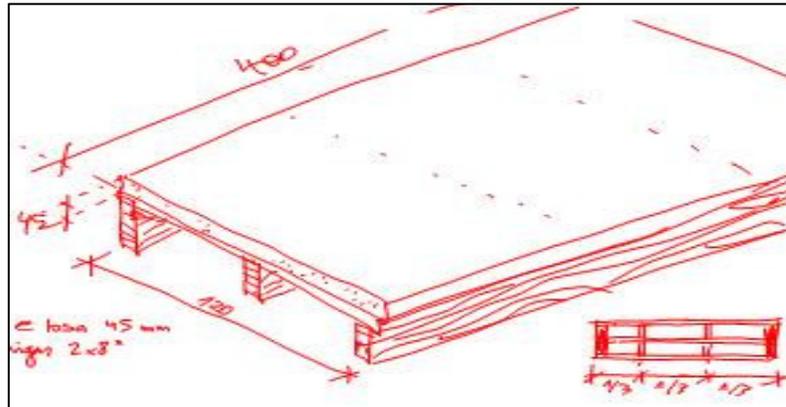


Imagen C-1: Boceto de Probetas realizados con Tablet PC-1

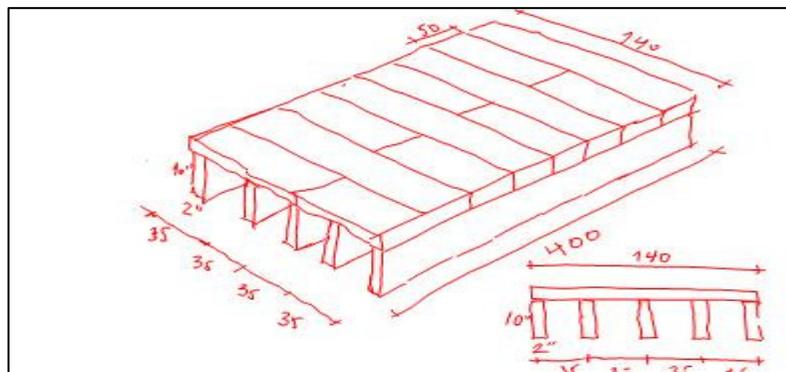


Imagen C-2: Boceto de Probetas realizados con Tablet PC-2

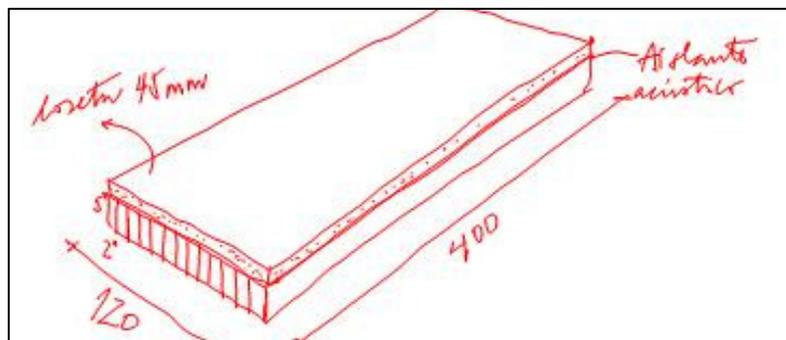
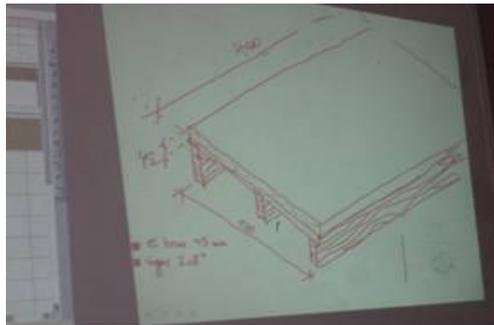


Imagen C-3: Boceto de Probetas realizados con Tablet PC-3

Fotografías de Sesión XC 4



Fotografía C-21: Trabajo con Tablet PC



Fotografía C-22: Proyección de trabajo en Tablet PC



Fotografía C-23: Trabajo en mesa con miembros de diversas áreas



Fotografía C-24: Evaluando factibilidad de ensayos predefinidos



Fotografía C-25: Mesa de trabajo



Fotografía C-26: Utilización de pantallas de proyección como herramienta de apoyo al trabajo

Etapa previa sesión XC 5

La etapa previa a la sesión 5 tenía como objetivo llevar a cabo parte de los ensayos de las probetas definidas en la sesión XC 4. Esto con el objetivo de tener información empírica con respecto al comportamiento de las soluciones, para determinar de mejor manera las especificaciones de los prototipos de viviendas. Además se debía generar documentación que facilitara el trabajo durante la sesión de trabajo. Los insumos sobre los que se trabajaron fueron:

- Planos con especificaciones técnicas de cada una de las soluciones contractivas elegidas.
- Ficha de levantamiento de criterios de diseño para viviendas prototipos.

En esta etapa se cumplió cabalmente con ambos insumos previamente definidos.

Sesión XC 5

Tabla C-10: Ficha Resumen Sesión XC 5

Sesión XC 5	Objetivos	Participantes: 18 especialistas en: • estructuras • planificación • comportamiento físico-ambiental • Arquitectura • 6 representantes de empresas proveedoras • 2 representantes de empresa Inmobiliaria
1. Consensuar requerimientos de 4 áreas que inciden en el diseño de los Prototipos CI, SI y adaptación de vivienda de la empresa Inmobiliaria Brotec. 2. Decidir qué soluciones constructivas evaluadas en las sesiones anteriores serán aplicadas en cada uno de los prototipos		Duración sesión: Estimada: 3 hrs. Real: 3 hrs.
Nivel de Cumplimiento de Objetivos • Se cumplieron los 2 objetivos en el caso de los prototipos CI y SI. No se alcanzó a analizar el caso de la adaptación de una vivienda de la Inmobiliaria BROTEC. El tiempo no fue suficiente dado que se prolongó el intercambio previo de información entre las empresas y el equipo de diseño.		
Implementación espacio físico y de las redes de intercambio humana y electrónica • Dos mesas de trabajo multidisciplinarias. • 1 computador, una pantalla de proyección, un proyector y una pizarra tradicional. • No se trabajó en forma virtual, pues había sido una limitante en sesiones anteriores.		

Hay que mencionar, que no alcanzó el tiempo para llegar a un consenso por prototipo, sólo se llegó a un levantamiento de qué era relevante para las inmobiliarias (mandante) y generar características generales para la vivienda. A continuación se presenta la ficha de levantamiento de criterios de diseño para prototipos y un ejemplo de los planos con especificaciones técnicas de las soluciones escogidas.

Consideraciones de Diseño Prototipos -	
Nombre _____	
Prototipo <input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> CI	
	Consideraciones Generales
	Cantidad de pisos _____
	Tamaño vivienda _____ m ²
	Casa Aislada <input type="checkbox"/> Pareada <input type="checkbox"/> Pareada Continua <input type="checkbox"/>
	Emplazamiento en terreno (adelante, atrás, etc) _____
	Ampliación Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>
	Infraestructura (sistemas de calefacción de agua, generación electricidad, etc)
	Gas _____
	Agua _____
	Alcantarillado o fosa _____
	Electricidad _____
	Estacionamientos (cantidad) _____
	<i>Ubicación y tamaños relativos de los recintos en croquis (dormitorios arriba/abajo, cocina grande/chica, etc)</i>
	Consideraciones Específicas
Revestimiento Exterior _____	
Ventanas _____	
Aislación _____	
Ventilación _____	
Cubierta _____	
Piso _____	
Otros (especifique) _____	

Figura C-1: Ficha de levantamiento de Resultados Sesión XC 5

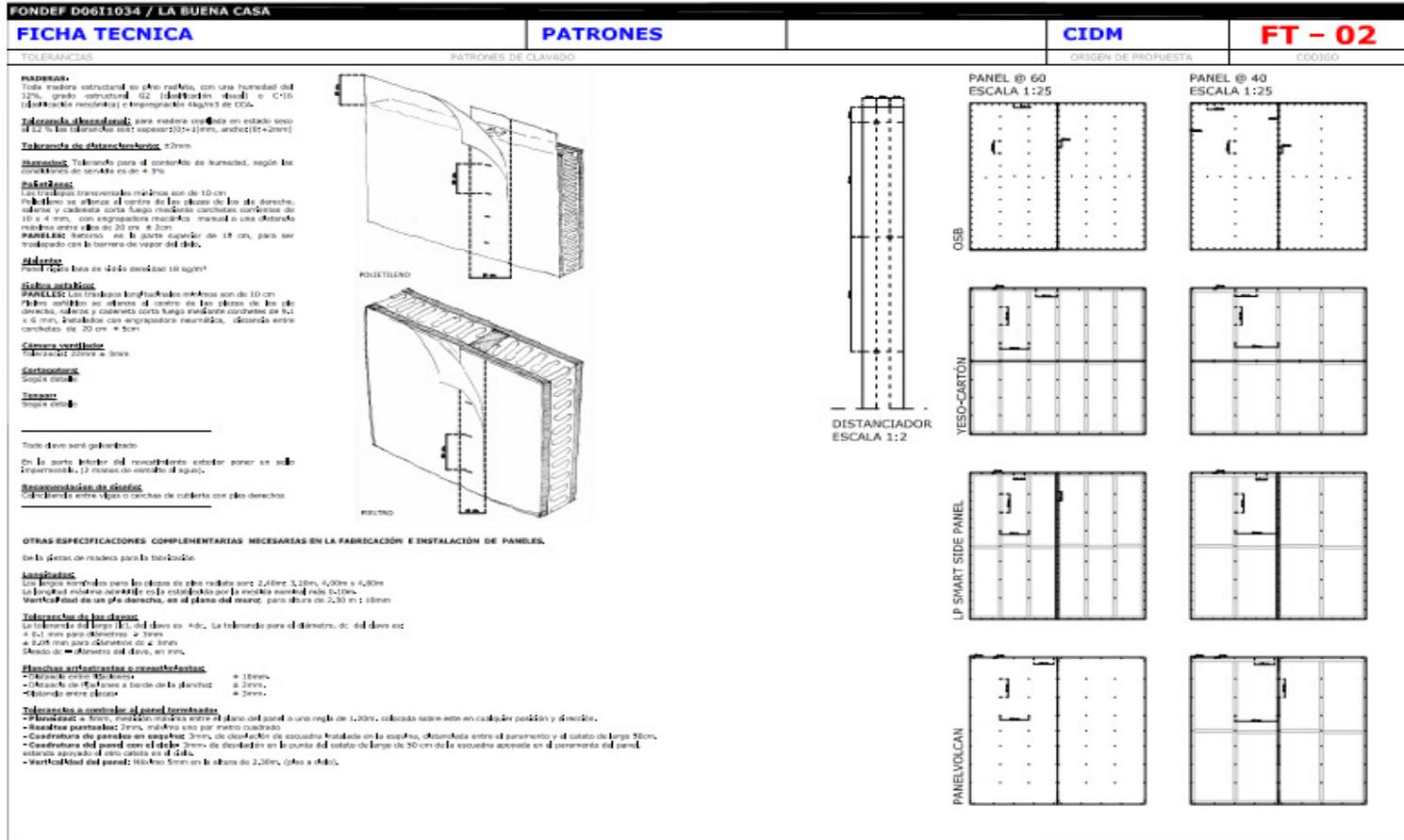


Figura C-2: Ejemplo planos generados para el desarrollo de la Sesión XC 5

Fotografías de Sesión XC 5



Fotografía C-27: Evaluando las distintas opciones a ser consideradas



Fotografía C-28: Discusión en Mesa multidisciplinaria



Fotografía C-29: Discusión en Mesa multidisciplinaria 2



Fotografía C-30: Discutiendo distintos aspectos en torno a pizarras



Fotografía C-31: Evaluando plazos y planificación del proyecto

D. ANEXO D: Encuesta de evaluación de Sesión XC

En la tabla D-1 se muestra qué preguntas fueron efectuadas en la encuesta de evaluación de XC para cada uno de los criterios de calidad del trabajo definidos para XC.

Tabla D-1: Preguntas efectuadas según Criterios de Calidad

Criterio de Calidad de Trabajo	N°	Pregunta
Definición	1	¿Los objetivos de la sesión planteados son suficientemente específicos para que pueda recordarse el tipo y cantidad correcta de información o materiales, antes de la sesión?
	2	Durante la sesión: ¿Se coordina el trabajo con las otras disciplinas adecuadamente?
	3	¿Puede decirse al final de la sesión que los objetivos han sido alcanzados?
Consistencia o legitimidad	4	De los documentos solicitados en la sesión : ¿Son todos ellos ejecutables durante la sesión?
	5	¿Usted entiende lo que se requiere que haga durante la sesión?
	6	¿Ha recibido la información/documentos requiere de otros en la sesión?
	7	¿Están todos los documentos y materiales necesarios para su trabajo disponibles en el sistema?
	8	¿Fueron realizados todos los compromisos hasta la sesión?
Secuencia / Flujo de actividades	9	¿Debió esperar por el trabajo de alguien más para poder seguir avanzando en sus actividades?
	10	En caso de no poder realizar una tarea: ¿existía la opción de realizar otra?
Tamaño	11	¿La magnitud de las tareas solicitadas son adecuadas a la capacidad real de trabajo en el tiempo establecido?
Consideración Tiempo	12	¿Respetó Ud. los tiempos asignados para cada actividad?
	13	Mientras realizaba cada tarea: ¿Estaba consciente y preocupado de la limitante de tiempo?
Aprendizaje	14	¿Cuáles cree usted son las causas de este no cumplimiento?
	15	¿Qué acciones haría Ud. para que estas causas no se vuelvan a presentar?

Encuesta Evaluación Sesión XC

Fecha: _____

Investigador Empresario

Área a la que pertenece: _____

1. ¿Los objetivos de la sesión planteados son suficientemente específicos para que pueda recolectarse el tipo y cantidad correcta de información o materiales, antes de la sesión?

Sí No No Aplica

2. Durante la sesión: ¿Se coordina el trabajo con las otras disciplinas adecuadamente?

Sí No

3. ¿Puede decirse al final de la sesión que los objetivos han sido alcanzados?

Sí No

4. De los documentos solicitados en la sesión: ¿Son todos ellos ejecutables durante la sesión?

Sí No

5. ¿Usted entiende lo que se requiere que haga durante la sesión?

Sí No

6. ¿Ha recibido la información/documentos requiere de otros en la sesión?

Sí No

7. ¿Están todos los documentos y materiales necesarios para su trabajo disponibles en el sistema?

Sí No No Aplica

8. ¿Fueron realizados todos los compromisos hasta la sesión?

Sí No No Aplica

9. ¿Debió esperar por el trabajo de alguien más para poder seguir avanzando en sus actividades?

Sí No No Aplica

10. En caso de no poder realizar una tarea: ¿existía la opción de realizar otra?

Sí No No Aplica

11. La magnitud de las tareas solicitadas son adecuadas a la capacidad real de trabajo en el tiempo establecido?

Sí No

12. ¿Respetó Ud. los tiempos asignados para cada actividad?

Sí No

13. Mientras realizaba cada tarea: ¿Estaba consciente y preocupado de la limitante de tiempo?

Sí No

E. ANEXO E: Resultados por sesión de encuesta de evaluación de la calidad del trabajo para sesiones XC

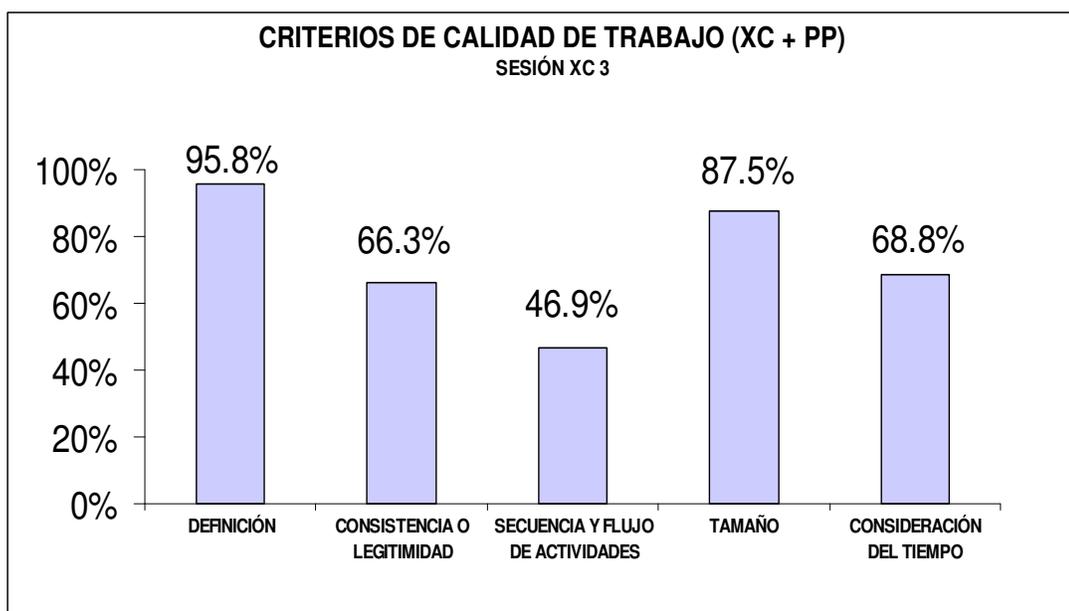


Gráfico E-1: Criterios de Calidad de trabajo (XC+PP) Sesión XC 3

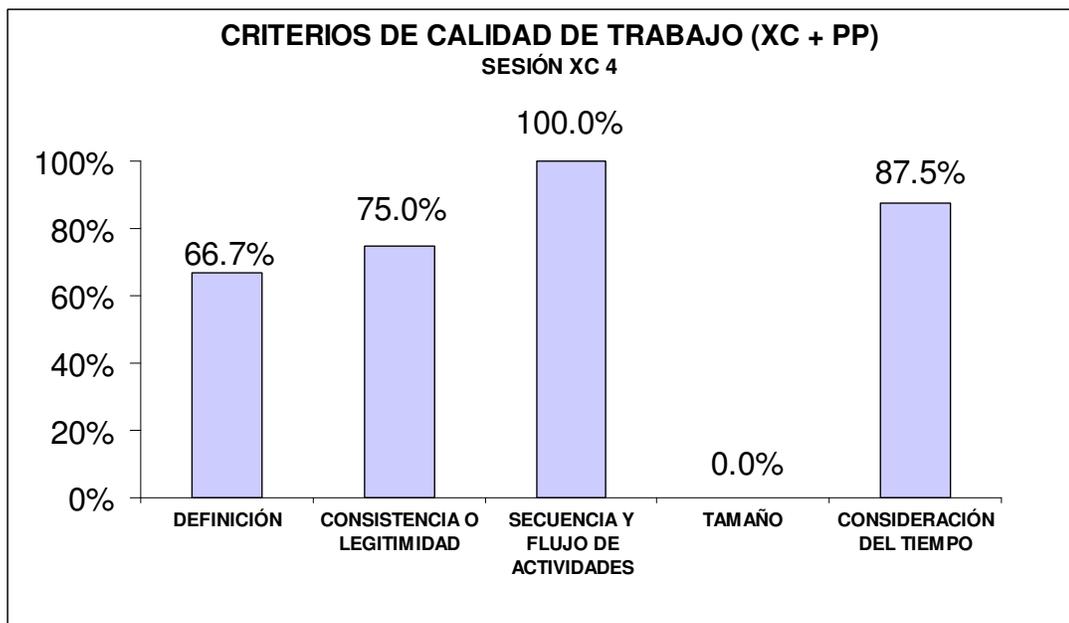


Gráfico E-2: Criterios de Calidad de trabajo (XC+PP) Sesión XC 4

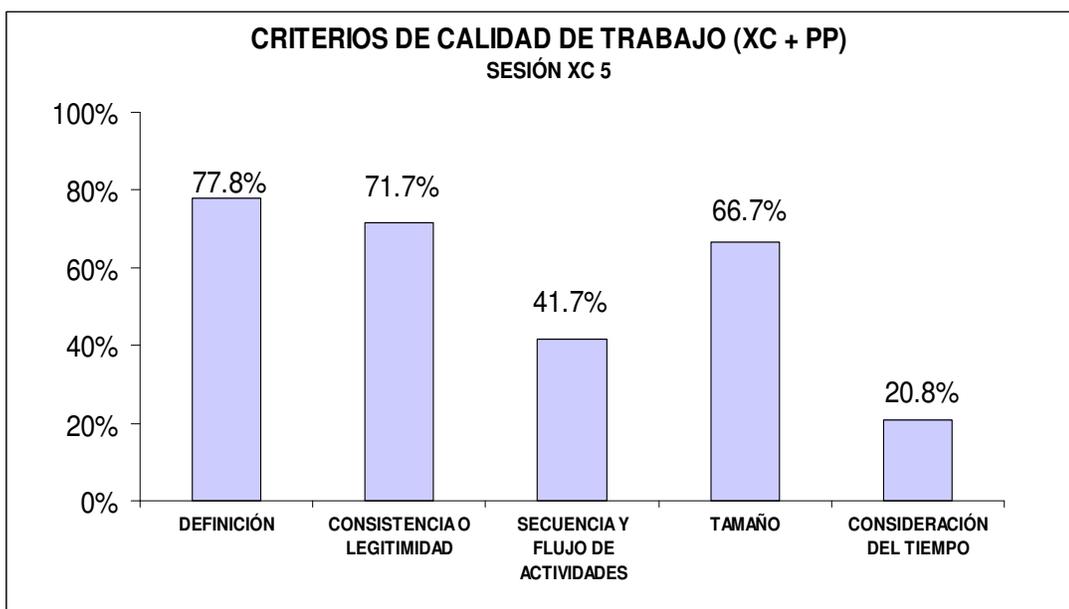


Gráfico E-3: Criterios de Calidad de trabajo (XC+PP) Sesión XC 5

F. ANEXO F: Experiencia y desarrollo sesiones PP en Caso de Estudio

En el caso de estudio, se desarrollaron dos sesiones de planificación por fases (PP), la primera antes de las sesiones XC 3 y 4 y la segunda de manera posterior (antes sesión XC 5).

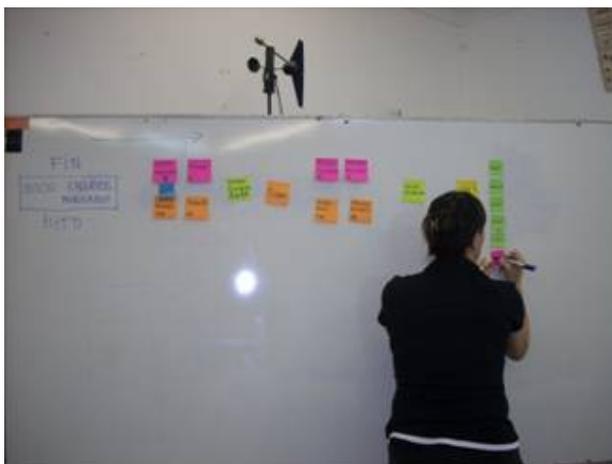
Desarrollo de las Sesiones de Planificación por Fases (Sesiones PP)

Sesión de PP 1

Tabla F-1: Ficha resumen sesión PS 1

Sesión PP 1	Hito Fase: Comienzo de ensayos normados. Probetas en el horno.	Participantes: 4 especialistas: • Área de eficiencia energética • Coordinación 3 especialistas ausentes con aportes posteriores: • Área estructuras y construcción
Aspectos de relevancia		
<ul style="list-style-type: none"> • No se presentaron todos los involucrados en la fase. • Se procedió a realizar un programa con los compromisos y tareas de las áreas presentes, y se establecieron las tareas que eran necesarias que el área ausente resolviera para el resto. Posteriormente el área ausente evaluó el programa logrado, acomodando la secuencia de actividades propias, aprobando finalmente un programa de consenso. • Dentro de esta fase se planificó las sesiones XC 3 y 4, determinándose claramente en ese momento los objetivos de las sesiones, los inputs, outputs y quienes serían los participantes de las sesiones. 		

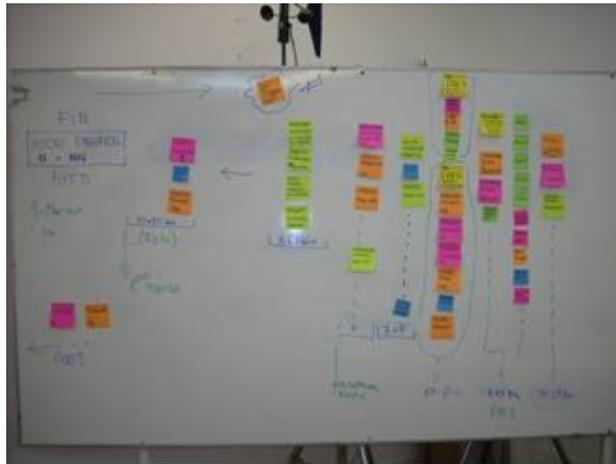
Fotografía Sesión PP 1



Fotografía F-1: Comienzo de sesión. Escribiendo las tareas desde el hito hacia hoy



Fotografía F-2: Discutiendo secuencia de tareas



Fotografía F-3: Programa al final de la sesión PP 1

Programa concensuado de tareas en formato digital

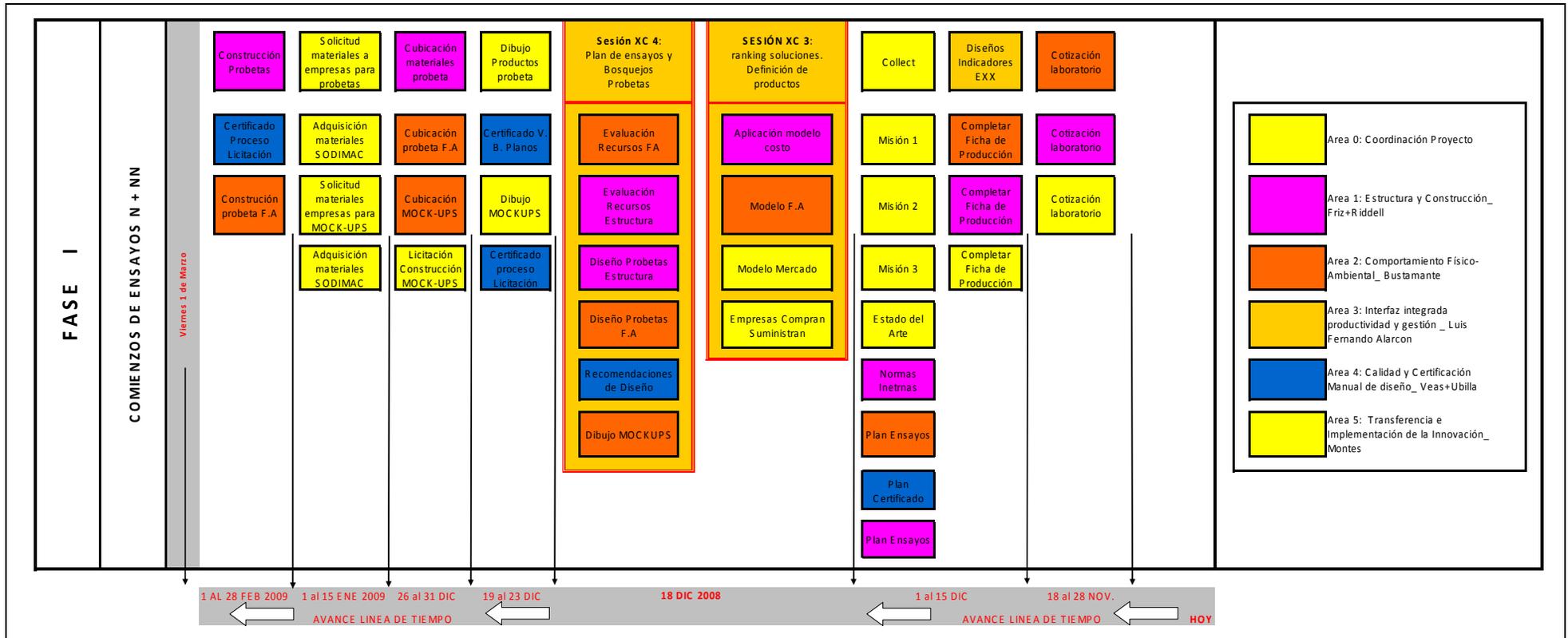


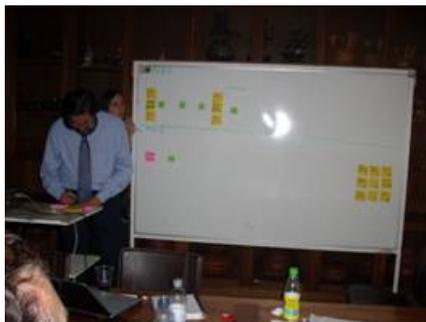
Figura F-1: Programa concensuado de tareas en formato digital sesión PP 1

Sesión de PP 2

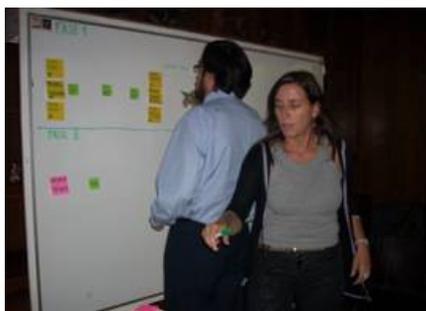
Tabla F-2: Ficha resumen sesión PP 2

Sesión PP 2	<p>Hito Fase: Anteproyecto de arquitectura concensuado de prototipos de viviendas</p>	<p>Participantes: 10 especialistas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Área eficiencia energética • Área estructural y construcción • Área de certificación de calidad • Coordinación
Aspectos de relevancia		
<ul style="list-style-type: none"> • No se logró cumplir con el hito de la fase 1 en la fecha establecida. • El retraso se produjo porque hubo actividades que se omitieron en la planificación. • Se reprogramaron las tareas pendientes de la fase 1, como su fecha de término. En el proceso de reprogramar el trabajo pendiente, se invirtió aproximadamente 1,5 hrs. (50% del tiempo). Se le dio prioridad a reprogramar el trabajo pendiente por la urgencia de su coordinación y terminó lo antes posible. • Queda pendiente la asignación de duraciones y fechas de cumplimiento de las actividades de la fase 2, así como la firma de compromisos. • Hasta esta sesión no se ha implementado el control de cumplimiento de compromisos. 		

Fotografía Sesión PP 2



Fotografía F-4: Comienzo de sesión. Reprogramando trabajo pendiente Fase 1



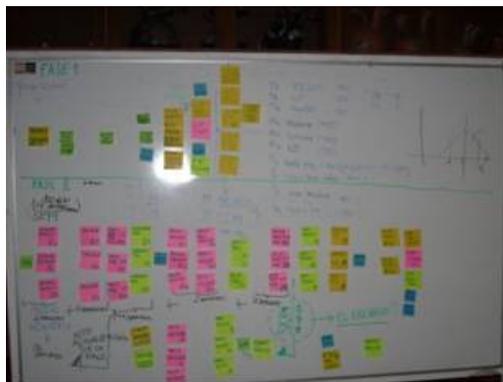
Fotografía F-5: Agregando más tareas al programa



Fotografía F-6: Discutiendo la secuencia de trabajo entre todas las áreas del proyecto



Fotografía F-7: Estableciendo fechas para la reprogramación de la Fase 1



Fotografía F-8: Programa final de tareas pendientes Fase 1 (sector superior) y secuencia concensuada de tareas fase 2

Programa concensuado de tareas en formato digital

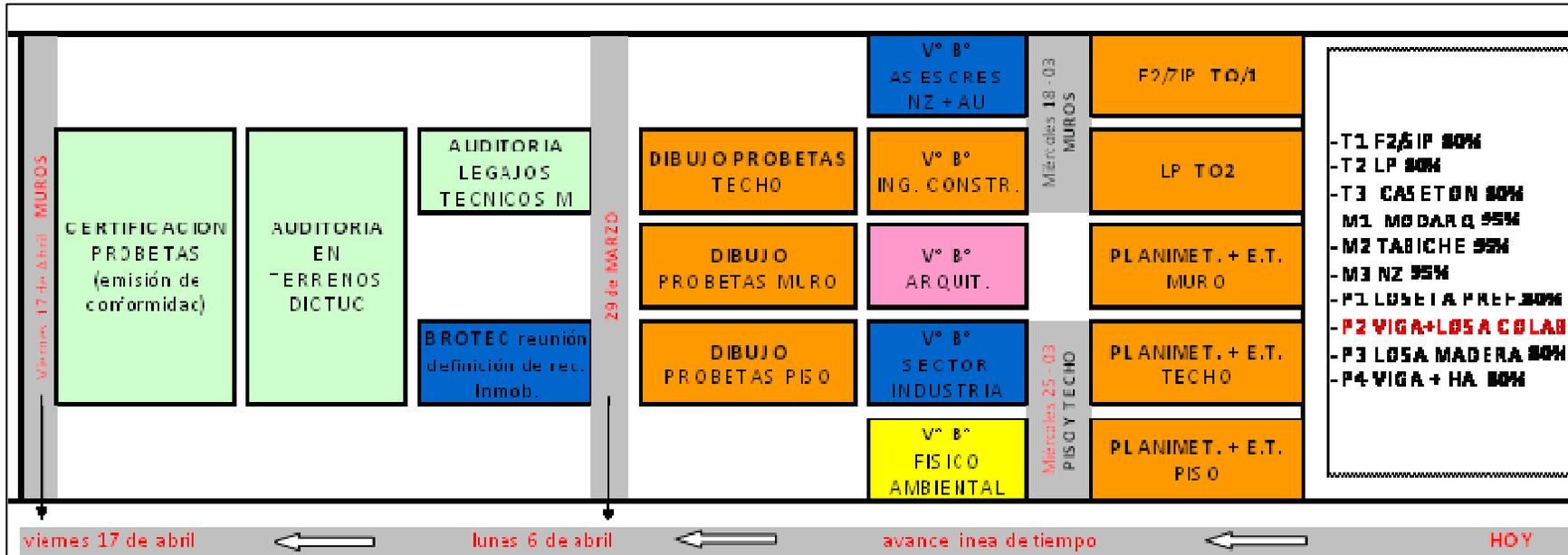


Figura F-2: Programa concensuado de tareas pendientes de Fase 1 en formato digital

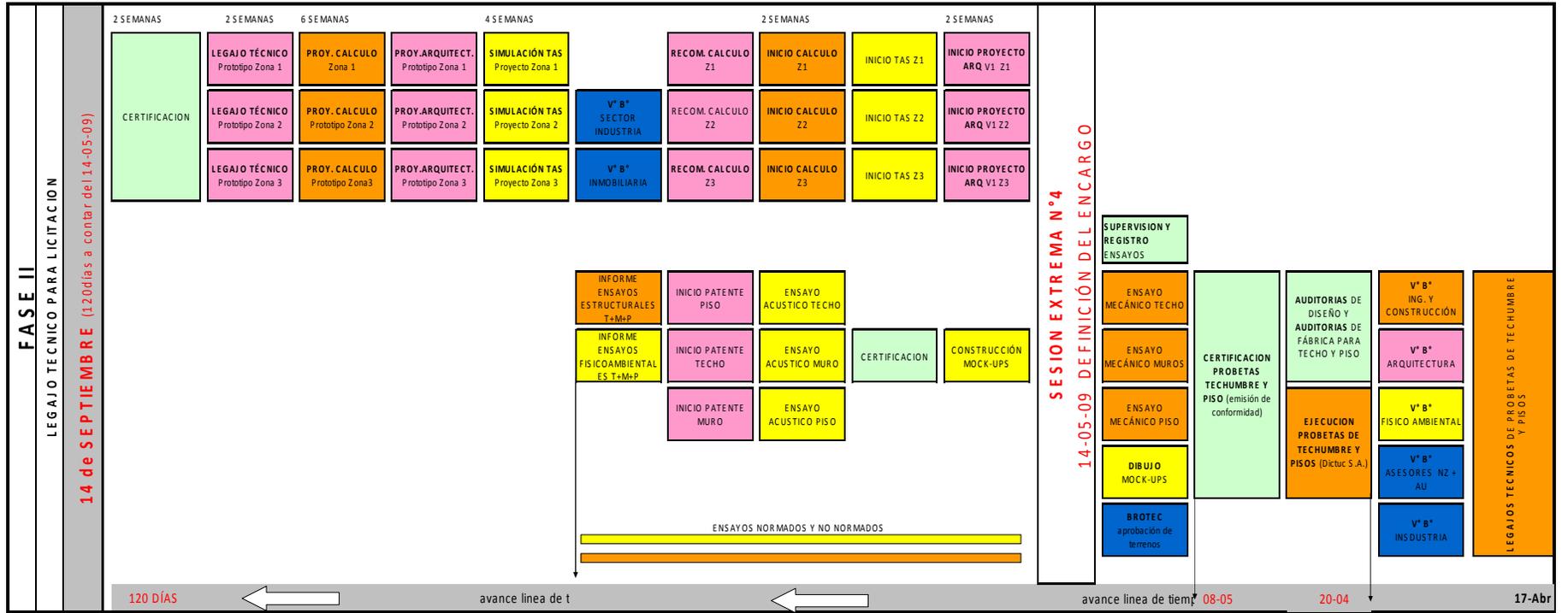


Figura F-3: Programa concensuado de tareas en formato digital sesión PP 2

FECHA DE COMPROMISOS

NOMBRE MEMBRO EQUIPO

FECHA 18/11/08

AREA DEL PROYECTO EN QUE PARTICIPA *Area 5.*

FUNCIÓN O CARGO DENTRO DEL PROYECTO *JeFe Area.*

¿Qué tengo que hacer?	¿Cuándo tengo que hacer las actividades?	¿Para qué hacer las actividades?	¿Para qué tengo que hacer las actividades?
IN F. Muestra T.1	13 ADM PARA EX3	CONCENTRACIÓN	Para ADM. Proyecto
" " T.2	13 ADM	" "	" " "
" " T.3	13 ADM	" "	" " "
ARTE			
Collect	13 Dic	Para generar info de mercado	Para Inducción EXXT 3
ARTE		CONCENTRACIÓN	Para inducción en EXXT.3
Completa FICHA	15 Dic	Para generar un documento de soporte en la perspectiva de los productos a ensayar.	Para inducción y trabajo sin EXXT 3
Modelo Mercado	18 Dic	Definición de modelo de negocio	Como input a EXXT 3

(Avance)



Imagen F-1: Ficha de levantamiento de Compromisos

G. ANEXO G: Encuestas de Validación de MIGD

Tabla G-1: Encuesta de Validación MIGD

ENCUESTA FOCUS GROUP VALIDACIÓN MIGD		Experto Invitado				
		Empresario				
PREGUNTAS		Investigador Proyecto				
		Compromiso entendib	Exclusión b	Neutralidad entendib	Disturbio b	Compromiso disturb
I. Apreciaciones Generales Metodología Integrada de Gestión de Diseño						
1	Esta metodología se adapta a las necesidades de la industria en la etapa de diseño	1	2	3	4	5
2	La participación activa de mandantes y contratistas en el diseño es factible	1	2	3	4	5
3	La integración de mandante y contratistas al proceso de diseño permite alcanzar resultados de mayor calidad y constructabilidad	1	2	3	4	5
4	MIGD permite gestionar y optimizar tanto el proceso de diseño como sus soluciones	1	2	3	4	5
II. Metodologías Planificación Mediano y Corto Plazo: <i>LAst Planner System (PP+AC+CC)</i>						
1	La planificación en base a compromisos mejora el desempeño del proyecto	1	2	3	4	5
2	La planificación en equipo en base a compromisos mejora las relaciones dentro del equipo de trabajo	1	2	3	4	5
3	La planificación en fases ayuda a tener una visión más clara de las tareas en el mediano plazo	1	2	3	4	5
4	Las sesiones de planificación por fases ayudan a asimilar mejor el plan maestro del proyecto.	1	2	3	4	5
5	En una organización se pueden instaurar sesiones de planificación por fases, cada 2-3 meses, donde participen activamente contratistas, proveedores y mandante (si es requerido)	1	2	3	4	5
6	La planificación por fases ayuda a entender mejor el trabajo del resto del equipo, y cómo mi trabajo influye sobre ellos	1	2	3	4	5
7	No sólo es necesario establecer los compromisos en el corto plazo, es indispensable su control de cumplimiento y posterior evaluación, analizando las causas que generan el no cumplimiento	1	2	3	4	5
8	Tener una ficha de compromisos personales me es...					
III. Metodología Ejecución Diseño: <i>Extreme Collaboration</i>						
1	El cumplimiento de objetivos de diseño en un tiempo menor al normalmente empleado implica una aceleración de este proceso	1	2	3	4	5
2	XC acelera el proceso de diseño versus un proceso tradicional de trabajo	1	2	3	4	5
3	Los tiempos de respuesta a los requerimientos son menores durante las sesiones XC	1	2	3	4	5
4	La generación previa de información relevante para la toma de decisiones en las distintas fases del diseño ayuda a diseñar en forma más expedita	1	2	3	4	5
5	Es posible que cada 15 días un equipo de trabajo sesione 3-4 hrs	1	2	3	4	5
6	Trabajar en conjunto con todas especialidades ayuda a entender mejor los criterios de cada uno en términos de que agrega valor al diseño	1	2	3	4	5
7	El uso de herramientas de gestión de documentos facilita el trabajo en la etapa de diseño	1	2	3	4	5
8	El uso de herramientas interactivas facilita el trabajo en las sesiones de diseño (tablet PC, pizarras interactivas, tabletas gráficas, etc)	1	2	3	4	5
9	El uso de herramientas de modelamiento facilita la toma de decisiones durante las sesiones XC	1	2	3	4	5
10	El uso de espacios colaborativos para el trabajo mejora las relaciones del equipo	1	2	3	4	5
11	XC estandariza el conocimiento del proyecto entre los involucrados	1	2	3	4	5
12	El distanciamiento de las sesiones extremas produce olvido del trabajo ya avanzado	1	2	3	4	5
13	En las sesiones XC es necesario entregar una lista de outputs (o documentos entregables) claramente definidos de acuerdo a lo que se espera de cada participante o mesa de trabajo	1	2	3	4	5
14	La interacción entre arquitectos, calculistas, constructores y proveedores, genera resultados de diseño con mayor valor en términos de calidad y constructabilidad	1	2	3	4	5
15	Las sesiones XC se transforman en hitos claros dentro del proceso de diseño	1	2	3	4	5
16	El número de integrantes por mesa que maximiza el intercambio de valor y facilita la generación de acuerdos es...					
17	El tiempo óptimo de una sesión XC es de ...					
18	Si las sesiones de trabajo se enfocan hacia una misma etapa del proyecto (diseño conceptual, anteproyecto de arquitectura, etc.), se recomienda que el tiempo entre ellas no sea mayor a...					
19	Las sesiones XC son una instancia Política y una instancia de trabajo efectivo ¿En que proporción? (ejemplo: 50-50; 20-80)					

Tabla G-2: Encuesta Comparativa de proyectos

Encuesta Comparativa Experiencia Anterior vs Proyecto Caso de Estudio						Investigador <input style="width: 40px; height: 20px;" type="text"/>	Empresario <input style="width: 40px; height: 20px;" type="text"/>			
Proyectobase anterior			Caso de Estudio							
Resultados de diseño	Muy Bueno	Bueno	Suficiente	Insuficiente	No pertinente	Muy Bueno	Bueno	Suficiente	Insuficiente	No pertinente
Nivel de Calidad de los Diseños	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Nivel de Constructabilidad de los Diseños	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Nivel de consideraciones de costos en soluciones	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Claridad en los resultados a alcanzar	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Equipo	Muy Bueno	Bueno	Suficiente	Insuficiente	No pertinente	Muy Bueno	Bueno	Suficiente	Insuficiente	No pertinente
Nivel de involucramiento del equipo de trabajo	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Nivel de involucramiento de proveedores y empresas en soluciones de diseño	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Nivel de entendimiento de puntos de vistas entre diferentes especialistas	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Nivel de acuerdo en desiciones efectuadas	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Nivel de rendimiento del equipo	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Nivel de Compromiso del Equipo	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Planificación	Muy Bueno	Bueno	Suficiente	Insuficiente	No pertinente	Muy Bueno	Bueno	Suficiente	Insuficiente	No pertinente
Nivel de cumplimiento de tareas	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Claridad en las tareas a ejecutar	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
¿Aplicaría la metodología en un siguiente proyecto?										
Sí <input style="width: 40px; height: 20px;" type="text"/> No <input style="width: 40px; height: 20px;" type="text"/>										
¿Por qué?										

Tabla G-3: Encuesta de Validación de Expertos de MIGD

**ENCUESTA FOCUS GROUP EXPERTOS:
VALIDACIÓN DE MIGD COMO METODOLOGÍA LEAN**

<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <td style="width: 25%;"></td> <td style="width: 25%;">Perspectiva de Transformación (T)</td> <td style="width: 25%;">Perspectiva de Flujo (F)</td> <td style="width: 25%;">Perspectiva de Generación de Valor (V)</td> </tr> <tr> <td>Contribución práctica</td> <td>Cuidar lo que hay que hacer</td> <td>Cuidar que lo innecesario sea realizado lo menos posible</td> <td>Cuidar que lo que requiere el cliente es satisfecho de la mejor forma posible</td> </tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <td rowspan="6" style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg); font-weight: bold; font-size: 1.2em;">MIGD</td> <td style="background-color: #FF9900; color: white; border-radius: 50%; padding: 5px;">PP</td> <td>Perspectiva de Flujo (F)</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">+</td> <td>Perspectiva de Generación de Valor (V)</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #A9A9A9; border-radius: 50%; padding: 5px;">AR+PPC +CNC</td> <td>Perspectiva de Flujo (F)</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">+</td> <td>Perspectiva de Transformación (T)</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #000080; color: white; border-radius: 50%; padding: 5px;">XC</td> <td>Perspectiva de Transformación (T)</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">+</td> <td>Perspectiva de Generación de Valor (V)</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="border: 1px dashed black; padding: 2px;">Perspectiva de Flujo (F)</td> </tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <td style="background-color: #ADD8E6; padding: 5px;">TFV</td> </tr> </table>		Perspectiva de Transformación (T)	Perspectiva de Flujo (F)	Perspectiva de Generación de Valor (V)	Contribución práctica	Cuidar lo que hay que hacer	Cuidar que lo innecesario sea realizado lo menos posible	Cuidar que lo que requiere el cliente es satisfecho de la mejor forma posible	MIGD	PP	Perspectiva de Flujo (F)	+	Perspectiva de Generación de Valor (V)	AR+PPC +CNC	Perspectiva de Flujo (F)	+	Perspectiva de Transformación (T)	XC	Perspectiva de Transformación (T)	+	Perspectiva de Generación de Valor (V)	Perspectiva de Flujo (F)		TFV	<p>1. La metodología MIGD cumple con el Modelo TFV</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <th style="background-color: #FFFF00;">Completamente en desacuerdo</th> <th style="background-color: #FFFF00;">En desacuerdo</th> <th style="background-color: #FFFF00;">Ni en acuerdo ni en desacuerdo</th> <th style="background-color: #FFFF00;">De acuerdo</th> <th style="background-color: #FFFF00;">Completamente de acuerdo</th> </tr> <tr> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> </tr> </table> <p>Comentarios</p> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <p>2. Planificación por fases (PP) envuelve las Perspectivas de Flujo y Generación de Valor</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <th style="background-color: #FFFF00;">Completamente en desacuerdo</th> <th style="background-color: #FFFF00;">En desacuerdo</th> <th style="background-color: #FFFF00;">Ni en acuerdo ni en desacuerdo</th> <th style="background-color: #FFFF00;">De acuerdo</th> <th style="background-color: #FFFF00;">Completamente de acuerdo</th> </tr> <tr> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> </tr> </table> <p>Comentarios</p> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <p>3. AR+CC envuelve las Perspectivas de Flujo y Transformación</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <th style="background-color: #FFFF00;">Completamente en desacuerdo</th> <th style="background-color: #FFFF00;">En desacuerdo</th> <th style="background-color: #FFFF00;">Ni en acuerdo ni en desacuerdo</th> <th style="background-color: #FFFF00;">De acuerdo</th> <th style="background-color: #FFFF00;">Completamente de acuerdo</th> </tr> <tr> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> </tr> </table> <p>Comentarios</p> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <p>4. Extreme Collaboration (XC) envuelve las Perspectivas Transformación, Generación de Valor y de Flujo (sólo en sesiones XC genera flujo, pues "tira" la producción durante las sesiones XC gracias al mayor nivel de iteración e interacción en el equipo)</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <th style="background-color: #FFFF00;">Completamente en desacuerdo</th> <th style="background-color: #FFFF00;">En desacuerdo</th> <th style="background-color: #FFFF00;">Ni en acuerdo ni en desacuerdo</th> <th style="background-color: #FFFF00;">De acuerdo</th> <th style="background-color: #FFFF00;">Completamente de acuerdo</th> </tr> <tr> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> </tr> </table> <p>Comentarios</p> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/>	Completamente en desacuerdo	En desacuerdo	Ni en acuerdo ni en desacuerdo	De acuerdo	Completamente de acuerdo	1	2	3	4	5	Completamente en desacuerdo	En desacuerdo	Ni en acuerdo ni en desacuerdo	De acuerdo	Completamente de acuerdo	1	2	3	4	5	Completamente en desacuerdo	En desacuerdo	Ni en acuerdo ni en desacuerdo	De acuerdo	Completamente de acuerdo	1	2	3	4	5	Completamente en desacuerdo	En desacuerdo	Ni en acuerdo ni en desacuerdo	De acuerdo	Completamente de acuerdo	1	2	3	4	5
	Perspectiva de Transformación (T)	Perspectiva de Flujo (F)	Perspectiva de Generación de Valor (V)																																																														
Contribución práctica	Cuidar lo que hay que hacer	Cuidar que lo innecesario sea realizado lo menos posible	Cuidar que lo que requiere el cliente es satisfecho de la mejor forma posible																																																														
MIGD	PP	Perspectiva de Flujo (F)																																																															
	+	Perspectiva de Generación de Valor (V)																																																															
	AR+PPC +CNC	Perspectiva de Flujo (F)																																																															
	+	Perspectiva de Transformación (T)																																																															
	XC	Perspectiva de Transformación (T)																																																															
	+	Perspectiva de Generación de Valor (V)																																																															
Perspectiva de Flujo (F)																																																																	
TFV																																																																	
Completamente en desacuerdo	En desacuerdo	Ni en acuerdo ni en desacuerdo	De acuerdo	Completamente de acuerdo																																																													
1	2	3	4	5																																																													
Completamente en desacuerdo	En desacuerdo	Ni en acuerdo ni en desacuerdo	De acuerdo	Completamente de acuerdo																																																													
1	2	3	4	5																																																													
Completamente en desacuerdo	En desacuerdo	Ni en acuerdo ni en desacuerdo	De acuerdo	Completamente de acuerdo																																																													
1	2	3	4	5																																																													
Completamente en desacuerdo	En desacuerdo	Ni en acuerdo ni en desacuerdo	De acuerdo	Completamente de acuerdo																																																													
1	2	3	4	5																																																													

FIGURA 1

Conforme a los criterios usados para evaluar la figura 1, evalúe las siguientes afirmaciones (Figura 2):

	XC	PP	LPS
Especificar valor	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Identificación del Flujo de valor	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Flujo	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Pull	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Perfección	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

FIGURA 2

5. XC y PP especifican valor

Completamente en desacuerdo	En desacuerdo	Ni en acuerdo ni en desacuerdo	De acuerdo	Completamente de acuerdo
1	2	3	4	5

Comentarios

6. Sólo PP identifica el flujo de valor

Completamente en desacuerdo	En desacuerdo	Ni en acuerdo ni en desacuerdo	De acuerdo	Completamente de acuerdo
1	2	3	4	5

Comentarios

7. Las tres herramientas generan flujo

Completamente en desacuerdo	En desacuerdo	Ni en acuerdo ni en desacuerdo	De acuerdo	Completamente de acuerdo
1	2	3	4	5

Comentarios

8. Las tres herramientas tiran la producción (pull)

Completamente en desacuerdo	En desacuerdo	Ni en acuerdo ni en desacuerdo	De acuerdo	Completamente de acuerdo
1	2	3	4	5

Comentarios

9. Las tres herramientas tienen mecanismos que buscan el mejoramiento continuo

Completamente en desacuerdo	En desacuerdo	Ni en acuerdo ni en desacuerdo	De acuerdo	Completamente de acuerdo
1	2	3	4	5

Comentarios

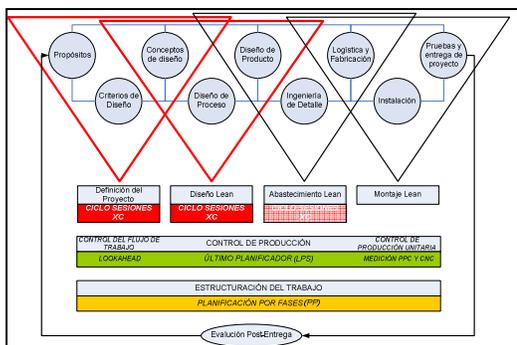


FIGURA 3

10. MIGD es una buena metodología para la implementación de LPDS en la etapa de diseño

Completamente en desacuerdo	En desacuerdo	Ni en acuerdo ni en desacuerdo	De acuerdo	Completamente de acuerdo
1	2	3	4	5

Comentarios

10. El orden de implementación de las metodologías debiera ser:

- a) PS-LPS-XC
- b) PS-XC-LPS
- c) LPS-PS-XC
- d) LPS-XC-PS
- e) XC-LPS-PS
- f) XC-PS-LPS

Comentarios

Fortalezas MIGD

Debilidades MIGD

Limitaciones MIGD

Generales MIGD

H. ANEXO H: Resultados de Encuestas de Validación

Tabla H-1: Resultados Encuesta de Validación de MIGD-I

AFIRMACIONES		PROFESIONALES CASO ESTUDIO					PROFESIONALES CASO DE ESTUDIO					EXPERTOS					EXPERTOS					TOTAL					TOTAL																
		FRECUENCIA					VALOR ASIGNADO					FRECUENCIA					VALOR ASIGNADO					FRECUENCIA					VALOR ASIGNADO																
		1	2	3	4	5	NR	-2	-1	0	1	2	0	PUNTAJE	NIVEL DE ACEPTACIÓN	1	2	3	4	5	NR	-2	-1	0	1	2	0	PUNTAJE	NIVEL DE ACEPTACIÓN	1	2	3	4	5	NR	-2	-1	0	1	2	0	PUNTAJE	NIVEL DE ACEPTACIÓN
1	Esta metodología se adapta a las necesidades de la industria en la etapa de diseño	0	0	2	6	0	0	0	0	0	6	0	0	0.8	ACEPTABLE	0	0	0	5	1	0	0	0	0	5	2	0	1.2	ACEPTABLE	0	0	2	11	1	0	0	0	0	11	2	0	0.9	ACEPTABLE
2	La participación activa de mandantes y contratistas en el diseño es factible	0	0	0	8	0	0	0	0	0	8	0	0	1.0	ACEPTABLE	0	0	1	4	1	0	0	0	0	4	2	0	1.0	ACEPTABLE	0	0	1	12	1	0	0	0	0	12	2	0	1.0	ACEPTABLE
3	La integración de mandante y contratistas al proceso de diseño permite alcanzar resultados de mayor calidad y constructabilidad	0	0	1	3	4	0	0	0	0	3	8	0	1.4	ACEPTABLE	0	0	0	2	4	0	0	0	0	2	8	0	1.7	FUERTE	0	0	1	5	8	0	0	0	0	5	16	0	1.5	ACEPTABLE
4	MIGD permite gestionar y optimizar tanto el proceso de diseño como sus soluciones	0	0	3	5	0	0	0	0	0	5	0	0	0.6	ACEPTABLE	0	0	2	3	1	0	0	0	0	3	2	0	0.8	ACEPTABLE	0	0	5	8	1	0	0	0	0	8	2	0	0.7	ACEPTABLE

Tabla H-2: Resultados Encuesta de Validación de MIGD-II

AFIRMACIONES	PROFESIONALES CASO ESTUDIO					PUNTAJE	NIVEL DE ACEPTACIÓN	EXPERTOS					PUNTAJE	NIVEL DE ACEPTACIÓN	TOTAL					PUNTAJE	NIVEL DE ACEPTACIÓN																						
	FRECUCENCIA							VALOR ASIGNADO							FRECUCENCIA							VALOR ASIGNADO																					
	1	2	3	4	5			NR	-2	-1	0	1			2	0	1	2	3			4	5	NR	-2	-1	0	1	2	0	1	2	3	4	5	NR	-2	-1	0	1	2	0	
1	La planificación en base a compromisos mejora el desempeño del proyecto	0	1	1	4	2	0	0	-1	0	4	4	0	0.9	ACEPTABLE	0	0	0	2	4	0	0	0	0	2	8	0	1.7	FUERTE	0	1	1	6	6	0	0	-1	0	6	12	0	1.2	ACEPTABLE
2	La planificación en equipo en base a compromisos mejora las relaciones dentro del equipo de trabajo	0	1	2	3	2	0	0	-1	0	3	4	0	0.8	ACEPTABLE	0	0	2	2	2	0	0	0	0	2	4	0	1.0	ACEPTABLE	0	1	4	5	4	0	0	-1	0	5	8	0	0.9	ACEPTABLE
3	La planificación en fases ayuda a tener una visión más clara de las tareas en el mediano plazo	0	0	0	6	2	0	0	0	0	6	4	0	1.3	ACEPTABLE	0	0	0	1	4	1	0	0	0	1	8	0	1.8	FUERTE	0	0	0	7	6	1	0	0	0	7	12	0	1.5	ACEPTABLE
4	Las sesiones de planificación por fases ayudan a asimilar mejor el plan maestro del proyecto.	0	0	2	5	1	0	0	0	0	5	2	0	0.9	ACEPTABLE	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	12	0	2.0	FUERTE	0	0	2	5	7	0	0	0	0	5	14	0	1.4	ACEPTABLE
5	En una organización se pueden instaurar sesiones de planificación por fases, cada 2-3 meses, donde participen activamente contratistas, proveedores y mandante (si es requerido)	0	0	2	5	1	0	0	0	0	5	2	0	0.9	ACEPTABLE	0	1	0	2	3	0	0	-1	0	2	6	0	1.2	ACEPTABLE	0	1	2	7	4	0	0	-1	0	7	8	0	1.0	ACEPTABLE
6	La planificación por fases ayuda a entender mejor el trabajo del resto del equipo, y cómo mi trabajo influye sobre ellos	0	0	0	6	2	0	0	0	0	6	4	0	1.3	ACEPTABLE	0	0	0	4	2	0	0	0	0	4	4	0	1.3	ACEPTABLE	0	0	0	10	4	0	0	0	0	10	8	0	1.3	ACEPTABLE
7	No sólo es necesario establecer los compromisos en el corto plazo, es indispensable su control de cumplimiento y posterior evaluación, analizando las causas que generan el no cumplimiento	0	0	0	3	5	0	0	0	0	3	10	0	1.6	FUERTE	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	12	0	2.0	FUERTE	0	0	0	3	11	0	0	0	0	3	22	0	1.8	FUERTE

Tabla H-3: Resultados Encuesta de Validación de MIGD-III

AFIRMACIONES	PROFESIONALES CASO ESTUDIO					VALOR ASIGNADO	PROFESIONALES CASO DE ESTUDIO		EXPERTOS					VALOR ASIGNADO	EXPERTOS		TOTAL					VALOR ASIGNADO	TOTAL	
	FRECUCENCIA						PUNTAJE	NIVEL DE ACEPTACIÓN	FRECUCENCIA						PUNTAJE	NIVEL DE ACEPTACIÓN	FRECUCENCIA						PUNTAJE	NIVEL DE ACEPTACIÓN
	1	2	3	4	5				NR	1	2	3	4				5	NR	1	2	3			
1 El cumplimiento de objetivos de diseño en un tiempo menor al normalmente empleado implica una aceleración de este proceso	0	1	3	2	2	0	0.6	ACEPTABLE	0	1	1	3	1	0	0.7	ACEPTABLE	0	2	4	5	3	0	0.6	ACEPTABLE
2 XC acelera el proceso de diseño versus un proceso tradicional de trabajo	0	0	2	6	0	0	0.8	ACEPTABLE	0	0	1	3	2	0	1.2	ACEPTABLE	0	0	3	9	2	0	0.9	ACEPTABLE
3 Los tiempos de respuesta a los requerimientos son menores durante las sesiones XC	0	1	1	3	3	0	1.0	ACEPTABLE	0	0	0	2	4	0	1.7	FUERTE	0	1	1	5	7	0	1.3	ACEPTABLE
4 La generación previa de información relevante para la toma de decisiones en las distintas fases del diseño ayuda a diseñar en forma más expedita	0	0	0	3	5	0	1.6	FUERTE	0	0	0	1	4	1	1.8	FUERTE	0	0	0	4	9	1	1.7	FUERTE
5 Es posible que cada 15 días un equipo de trabajo sesione 3-4 hrs	0	4	2	1	1	0	-0.1	NIGUN APOYO	0	1	0	2	2	1	1.0	ACEPTABLE	0	5	2	3	3	1	0.3	DEBIL
6 Trabajar en conjunto con todas especialidades ayuda a entender mejor los criterios de cada uno en términos de que agrega valor al diseño	0	0	0	6	2	0	1.3	ACEPTABLE	0	0	0	3	2	1	1.4	ACEPTABLE	0	0	0	9	4	1	1.3	ACEPTABLE
7 El uso de herramientas de gestión de documentos facilita el trabajo en la etapa de diseño	0	0	4	3	1	0	0.6	ACEPTABLE	0	0	0	1	3	2	1.8	FUERTE	0	0	4	4	4	2	1.0	ACEPTABLE

8	El uso de herramientas interactivas facilita el trabajo en las sesiones de diseño (tablet PC, pizarras interactivas, tabletas gráficas, etc)	0 0 3 5 0 0	0 0 0 5 0 0	0.6	ACEPTABLE	0 0 1 3 1 1	0 0 0 3 2 0	1.0	ACEPTABLE	0 0 4 8 1 1	0 0 0 8 2 0	0.8	ACEPTABLE
9	El uso de herramientas de modelamiento facilita la toma de decisiones durante las sesiones XC	0 0 4 3 1 0	0 0 0 3 2 0	0.6	ACEPTABLE	0 0 1 1 2 2	0 0 0 1 4 0	1.3	ACEPTABLE	0 0 5 4 3 2	0 0 0 4 6 0	0.8	ACEPTABLE
10	El uso de espacios colaborativos para el trabajo mejora las relaciones del equipo	0 0 1 3 4 0	0 0 0 3 8 0	1.4	ACEPTABLE	0 1 1 2 1 1	0 -1 0 2 2 0	0.6	ACEPTABLE	0 1 2 5 5 1	0 -1 0 5 10 0	1.1	ACEPTABLE
11	XC estandariza el conocimiento del proyecto entre los involucrados	0 0 4 1 2 0	0 0 0 1 4 0	0.7	ACEPTABLE	0 1 1 3 1 0	0 -1 0 3 2 0	0.7	ACEPTABLE	0 1 5 4 3 0	0 -1 0 4 6 0	0.7	ACEPTABLE
12	El distanciamiento de las sesiones extremas produce olvido del trabajo ya avanzado	0 0 0 5 3 0	0 0 0 5 6 0	1.4	ACEPTABLE	0 0 0 2 3 1	0 0 0 2 6 0	1.6	FUERTE	0 0 0 7 6 1	0 0 0 7 12 0	1.5	ACEPTABLE
13	En las sesiones XC es necesario entregar una lista de outputs (o documentos entregables) claramente definidos de acuerdo a lo que se espera de cada participante o mesa de trabajo	0 0 0 4 4 0	0 0 0 4 8 0	1.5	ACEPTABLE	0 0 0 2 3 1	0 0 0 2 6 0	1.6	FUERTE	0 0 0 6 7 1	0 0 0 6 14 0	1.5	FUERTE
14	La interacción entre arquitectos, calculistas, constructores y proveedores, genera resultados de diseño con mayor valor en términos de calidad y constructabilidad	0 0 0 2 6 0	0 0 0 2 12 0	1.8	FUERTE	0 1 1 2 1 1	0 -1 0 2 2 0	0.6	ACEPTABLE	0 1 1 4 7 1	0 -1 0 4 14 0	1.3	ACEPTABLE
15	Las sesiones XC se transforman en hitos claros dentro del proceso de diseño	0 0 2 3 3 0	0 0 0 3 6 0	1.1	ACEPTABLE	0 1 1 1 2 1	0 -1 0 1 4 0	0.8	ACEPTABLE	0 1 3 4 5 1	0 -1 0 4 10 0	1.0	ACEPTABLE

Tabla H-4: Resultados Encuesta Comparativa entre Proyecto Base y Caso de Estudio

Encuesta Comparativa Experiencia Anterior vs Proyecto Caso de Estudio																								
	Proyecto base anterior FRECUENCIA					Proyecto base anterior VALOR ASIGNADO					PROMEDIO	NIVEL DE ACEPTACIÓN	Caso de Estudio FRECUENCIA					Caso de Estudio VALOR ASIGNADO					PROMEDIO	NIVEL DE ACEPTACIÓN
	Muy Bueno	Bueno	Suficiente	Insuficiente	No pertinente	3	2	1	-1	0			Muy Bueno	Bueno	Suficiente	Insuficiente	No pertinente	3	2	1	-1	0		
Resultados de diseño																								
Nivel de Calidad de los Diseños	1	3	3	0	0	3	6	3	0	0	1.7	ACEPTABLE	1	3	2	0	1	3	6	2	0	0	1.8	ACEPTABLE
Nivel de Constructabilidad de los Diseños	1	4	2	0	0	3	8	2	0	0	1.9	ACEPTABLE	0	4	2	0	1	0	8	2	0	0	1.7	ACEPTABLE
Nivel de consideraciones de costos en soluciones	0	1	6	0	0	0	2	6	0	0	1.1	ACEPTABLE	0	4	2	0	1	0	8	2	0	0	1.7	ACEPTABLE
Claridad en los resultados a alcanzar	0	3	4	0	0	0	6	4	0	0	1.4	ACEPTABLE	1	2	3	0	1	3	4	3	0	0	1.7	ACEPTABLE
Equipo																								
Nivel de involucramiento del equipo de trabajo	1	3	2	1	0	3	6	2	-1	0	1.4	ACEPTABLE	1	4	2	0	0	3	8	2	0	0	1.9	ACEPTABLE
Nivel de involucramiento de proveedores y empresas en soluciones de diseño	0	2	4	1	0	0	4	4	-1	0	1.0	ACEPTABLE	0	2	4	1	0	0	4	4	-1	0	1.0	ACEPTABLE
Nivel de entendimiento de puntos de vistas entre diferentes especialistas	0	4	1	2	0	0	8	1	-2	0	1.0	ACEPTABLE	1	3	3	0	0	3	6	3	0	0	1.7	ACEPTABLE
Nivel de acuerdo en desiciones efectuadas	0	4	3	0	0	0	8	3	0	0	1.6	ACEPTABLE	1	4	2	0	0	3	8	2	0	0	1.9	ACEPTABLE
Nivel de rendimiento del equipo	0	3	1	2	0	0	6	1	-2	0	0.8	DEBIL	0	2	4	1	0	0	4	4	-1	0	1.0	ACEPTABLE
Nivel de Compromiso del Equipo	0	5	1	1	0	0	10	1	-1	0	1.4	ACEPTABLE	0	3	4	0	0	0	6	4	0	0	1.4	ACEPTABLE
Planificación y Cumplimiento																								
Nivel de cumplimiento de tareas	1	3	1	2	0	3	6	1	-2	0	1.1	ACEPTABLE	0	1	5	1	0	0	2	5	-1	0	0.9	DEBIL
Claridad en las tareas a ejecutar	0	5	0	2	0	0	10	0	-2	0	1.1	ACEPTABLE	0	4	3	0	0	0	8	3	0	0	1.6	ACEPTABLE
¿Aplicaría la metodología en un siguiente proyecto?																								
Sí <input checked="" type="checkbox"/> 6 No <input type="checkbox"/> 1																								

Tabla H-5: Resultados Encuesta de Validación de Expertos

1. La metodología MIGD cumple con el Modelo TFV									
	Completamente en desacuerdo	En desacuerdo	Ni en acuerdo ni en desacuerdo	De acuerdo	Completamente de acuerdo	No responde o No Pertinente	PROMEDIO	NIVEL DE ACEPTACIÓN	
FRECUENCIA	-2	0	-1	0	1	3	2		
VALOR ASIGNADO	0	0	0	0	3	5	0	1.6	FUERTE
2. Planificación por fases (PP) envuelve las Perspectivas de Flujo y Generación de Valor									
	Completamente en desacuerdo	En desacuerdo	Ni en acuerdo ni en desacuerdo	De acuerdo	Completamente de acuerdo	No responde o No Pertinente	PROMEDIO	NIVEL DE ACEPTACIÓN	
FRECUENCIA	-2	0	-1	0	1	4	1		
VALOR ASIGNADO	0	0	1	0	4	2	0	0.8	ACEPTABLE
3. AR+CC envuelve las Perspectivas de Flujo y Transformación									
	Completamente en desacuerdo	En desacuerdo	Ni en acuerdo ni en desacuerdo	De acuerdo	Completamente de acuerdo	No responde o No Pertinente	PROMEDIO	NIVEL DE ACEPTACIÓN	
FRECUENCIA	-2	0	-1	0	1	2	4		
VALOR ASIGNADO	0	0	0	0	4	2	0	1.3	ACEPTABLE
4. Extreme Collaboration (XC) envuelve las Perspectivas Transformación, Generación de Valor y de Flujo (sólo en sesiones XC genera flujo, pues "tira" la producción durante las sesiones XC gracias al mayor nivel de iteración e interacción en el equipo)									
	Completamente en desacuerdo	En desacuerdo	Ni en acuerdo ni en desacuerdo	De acuerdo	Completamente de acuerdo	No responde o No Pertinente	PROMEDIO	NIVEL DE ACEPTACIÓN	
FRECUENCIA	-2	0	-1	0	1	2	1		
VALOR ASIGNADO	0	0	1	0	4	2	0	0.8	ACEPTABLE
5. XC y PP especifican valor									
	Completamente en desacuerdo	En desacuerdo	Ni en acuerdo ni en desacuerdo	De acuerdo	Completamente de acuerdo	No responde o No Pertinente	PROMEDIO	NIVEL DE ACEPTACIÓN	
FRECUENCIA	-2	0	-1	0	1	2	4		
VALOR ASIGNADO	0	0	0	0	4	2	0	1.3	ACEPTABLE
6. Sólo PP identifica el flujo de valor									
	Completamente en desacuerdo	En desacuerdo	Ni en acuerdo ni en desacuerdo	De acuerdo	Completamente de acuerdo	No responde o No Pertinente	PROMEDIO	NIVEL DE ACEPTACIÓN	
FRECUENCIA	-2	0	-1	0	1	2	1		
VALOR ASIGNADO	0	0	2	2	1	2	0	0.2	DEBIL
7. Las tres herramientas generan flujo									
	Completamente en desacuerdo	En desacuerdo	Ni en acuerdo ni en desacuerdo	De acuerdo	Completamente de acuerdo	No responde o No Pertinente	PROMEDIO	NIVEL DE ACEPTACIÓN	
FRECUENCIA	-2	0	-1	0	1	2	2		
VALOR ASIGNADO	0	0	3	0	1	2	0	0.3	DEBIL
8. Las tres herramientas tiran la producción (pull)									
	Completamente en desacuerdo	En desacuerdo	Ni en acuerdo ni en desacuerdo	De acuerdo	Completamente de acuerdo	No responde o No Pertinente	PROMEDIO	NIVEL DE ACEPTACIÓN	
FRECUENCIA	-2	0	-1	0	1	2	1		
VALOR ASIGNADO	0	0	0	1	3	1	0	1.0	ACEPTABLE
9. Las tres herramientas tienen mecanismos que buscan el mejoramiento continuo									
	Completamente en desacuerdo	En desacuerdo	Ni en acuerdo ni en desacuerdo	De acuerdo	Completamente de acuerdo	No responde o No Pertinente	PROMEDIO	NIVEL DE ACEPTACIÓN	
FRECUENCIA	-2	0	-1	0	1	2	2		
VALOR ASIGNADO	0	0	1	1	2	2	0	0.8	ACEPTABLE
10. MIGD es una buena metodología para la implementación de LPDS en la etapa de diseño									
	Completamente en desacuerdo	En desacuerdo	Ni en acuerdo ni en desacuerdo	De acuerdo	Completamente de acuerdo	No responde o No Pertinente	PROMEDIO	NIVEL DE ACEPTACIÓN	
FRECUENCIA	-2	0	-1	0	1	2	2		
VALOR ASIGNADO	0	0	0	2	2	2	0	1.0	ACEPTABLE