

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**



**APLICACIÓN DE LAS METODOLOGÍAS CONSTRUCCIÓN SIN
PÉRDIDAS E INNOVACIÓN TECNOLÓGICA PARA LA MEJORA
DE LA PRODUCTIVIDAD EN PROCESOS DE PAVIMENTACIÓN**

TESIS

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

BRAHIAN HUGO ROMÁN CABRERA

Lima- Perú

Digitalizado por:

2015

**Consortio Digital del
Conocimiento MebLatam,
Hemisferio y Dalse**

ÍNDICE		Pág.
RESUMEN		5
RELACIÓN DE TABLAS		6
RELACIÓN DE FIGURAS		8
RELACIÓN DE SÍMBOLOS Y SIGLAS		10
INTRODUCCIÓN		11
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y GENERALIDADES		13
1.1	DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA Y MOTIVACIÓN	13
1.2	ANTECEDENTES	15
1.3	OBJETIVOS	17
1.3.1	Objetivo principal	17
1.3.2	Objetivos específicos	17
1.4	HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	17
1.5	METODOLOGIA DE INVESTIGACIÓN	18
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO		19
2.1	PAVIMENTOS	19
2.1.1	Requisitos de calidad de la estructura de pavimentos asfálticos	19
2.2	PLANIFICACIÓN Y CONTROL DE PROYECTOS	21
2.2.1	Procesos de Planeamiento	21
2.3	PRODUCTIVIDAD EN LA CONSTRUCCIÓN	22
2.3.1	Definición de Productividad	22
2.3.2	Factores que afectan la productividad en la construcción	23
2.3.3	Productividad en Obras Viales	25
2.3.4	Herramientas de control y medición de la productividad	27
2.3.4.1	<i>Control de la Productividad</i>	28
2.3.4.2	<i>Medición de la productividad</i>	28
2.4	MEJORA CONTINUA EN LA CONSTRUCCION	30
2.4.1	Mejora Continua	30
2.4.2	Producción sin Pérdidas (Lean Production) y definición del valor	31
2.4.3	Construcción sin Pérdidas	32
2.4.4	Definición de valor en términos de los clientes	34
2.4.5	Pérdidas y clasificación	34
2.4.6	Lean para la mejora de la productividad del trabajo	35
2.4.6.1	<i>Mapa de Flujo de Valor (MFV)</i>	37
2.4.6.2	<i>Ciclos de Mejoramiento Continuo</i>	41
2.4.6.3	<i>Control y Planeamiento de la Producción (Last Planner™)</i>	42
2.4.6.4	<i>Otras herramientas</i>	44
2.5	INNOVACIÓN	46
2.5.1	Innovación Tecnológica en la Construcción	46
2.5.1.1	<i>Casos de innovación de producto</i>	47
2.5.1.2	<i>Casos de Innovación de proceso</i>	48

2.5.2	Dinámica de la innovación tecnológica	49
2.5.3	Mecanismos para incorporar innovación tecnológica	51
2.5.3.1	<i>Caza Tecnológica</i>	53
2.5.3.2	<i>Investigación, Desarrollo Tecnológico e innovación (I+D+i)</i>	54
2.6	EVALUACION DE PROYECTOS DE MEJORA	55
2.6.1	Análisis de Viabilidad	55
2.6.2	Riesgos de la innovación tecnológica	57
CAPÍTULO III: MEJORA DE LA PRODUCTIVIDAD EN LA CONSTRUCCIÓN 59		
3.1	MEJORA CONTINUA E INNOVACIÓN	59
3.2	GUÍA PARA APLICACIÓN DE LAS METODOLOGÍAS	61
3.2.1	Definición de términos a usar	61
3.2.2	Consideraciones y limitaciones	63
3.2.3	Estrategia General Propuesta	64
3.2.3.1	<i>Elección de Conjunto de Procesos y Revisión de información</i>	67
3.2.3.2	<i>Identificación del proceso crítico o rector</i>	67
3.2.3.3	<i>Medición</i>	69
3.2.3.4	<i>Evaluación</i>	72
3.2.3.5	<i>Intervención</i>	72
3.2.3.6	<i>Plan de Implementación</i>	73
3.2.3.7	<i>Monitoreo</i>	74
3.2.4	Etapas para incorporar Innovación Tecnológica a los procesos	75
3.2.4.1	<i>Evaluación - Vigilancia Tecnológica</i>	75
3.2.4.2	<i>Evaluación - Jerarquización de oportunidades y caza tecnológica</i>	76
3.2.4.3	<i>Evaluación técnica, económica y análisis de riesgos</i>	77
3.2.4.4	<i>Plan de implementación</i>	78
3.2.4.5	<i>Incorporación al conocimiento de la empresa</i>	79
CAPÍTULO IV: DIAGNOSTICO DEL ESTADO ACTUAL 80		
4.1	DESCRIPCIÓN DEL CASO DE ESTUDIO	80
4.1.1	Información general	80
4.1.3	Sistema de gestión del proyecto	81
4.1.4	Planeamiento y Programación	83
4.1.5	Personal involucrado y consideraciones éticas	83
4.1.6	Ingeniería de pavimentos en el proyecto	83
4.1.7	Especificaciones Técnicas de interés	84
4.2	REVISIÓN DEL ALCANCE	84
4.3	DETERMINACIÓN DEL PROCESO CRÍTICO	85
4.4	MEDICIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE LA PRODUCTIVIDAD	88
4.4.1	Observación de actividades en el campo	88
4.4.2	Identificación de problemas en campo	94
4.4.3	Identificación del flujo de valor dentro del proceso	95
4.4.3.1	<i>Definición de indicadores</i>	95
4.4.3.2	<i>Brecha de Costo Unitario de Producción (BCUP):</i>	96
4.4.3.3	<i>Tiempos No Contributorios (TNC y TIF)</i>	100

4.4.3.4	<i>Desabastecimiento de Material Granular (DESAB):</i>	113
4.4.3.5	<i>Inventarios (INV):</i>	113
4.4.3.6	<i>Tiempo de Inventarios (TI):</i>	115
4.4.3.7	<i>Desperdicio (DESP):</i>	116
4.4.3.8	<i>Disponibilidad Mecánica (DM):</i>	116
4.4.3.9	<i>Tiempo de Ciclo (CT) y de valor agregado (TVA)</i>	117
4.4.3.10	<i>Producción promedio (PP) y variabilidad de producción:</i>	118
4.4.3.11	<i>Porcentaje de Plan Cumplido diario (PPC)</i>	119
4.4.3.12	<i>Tiempo de No-Calidad (NQT) y Análisis de la calidad</i>	120
4.4.3.13	<i>Mapa de Flujo de Valor (MFV)- Estado Actual</i>	124
4.5	EVALUACION	126
4.5.1	Discusión de resultados	126
4.5.2	Identificación de Causas Raíz	128
4.5.2.1	<i>Variabilidad de Producción</i>	129
4.5.2.2	<i>Bajo rendimiento de los equipos de nivelado y compactación</i>	131
	CAPÍTULO V: PROPUESTA DE MEJORA CONTINUA	133
5.1	INTERVENCIÓN	133
5.1.1	Aseguramiento del flujo:	133
5.1.1.1	<i>Mejoras al Plan de Gestión de la Calidad</i>	134
5.1.1.2	<i>Mejoras al sistema de programación a mediano plazo</i>	137
5.1.2	Operaciones Eficientes	142
5.1.2.1	<i>Reducción de actividades que no añaden valor</i>	142
5.1.3	Estandarización del flujo	149
5.1.4	Mapa de Flujo de Valor (MFV) - Estado Mejorado	154
5.1.5	Resumen de planes de mejora	156
	CAPÍTULO VI: PROPUESTA DE INNOVACIÓN TECNOLÓGICA	160
6.1	INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO (I+D)	160
6.2	BENCHMARKING TECNOLÓGICO	163
6.3	JERARQUIZACIÓN DE OPORTUNIDADES DE MEJORA	169
6.4	DETALLE DE SOLUCIONES TECNOLÓGICAS Y PROVEEDORES	172
6.4.1	Sistemas de Nivelación	172
6.4.2	Sistema AccugradeTM de Caterpillar	173
6.4.3	Terminadoras de carpeta asfáltica VOGELE	173
6.5	ALTERNATIVAS POSIBLES	174
6.5.1	Alternativa 1	174
6.5.2	Alternativa 2	175
6.5.3	Alternativa 3	176
6.5.4	Otras alternativas	176
6.6	ANALISIS DE FACTIBILIDAD DE LAS ALTERNATIVAS	177
6.6.1	Viabilidades técnica, operacional y política	177
6.6.2	Identificación de riesgos	179
6.6.3	Evaluación económica	181
6.6.3.1	<i>Cálculo del costo horario del equipo propuesto</i>	181

6.6.3.2	<i>Condiciones de análisis</i>	182
6.6.3.3	<i>Nueva cuadrilla propuesta</i>	185
6.6.3.4	<i>Análisis de Costos y Beneficios</i>	186
6.7	CONCLUSIONES DE LA EVALUACIÓN	188
	CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	189
7.1	CONCLUSIONES	189
7.2	RECOMENDACIONES	193
	BIBLIOGRAFÍA	195
	ANEXOS	198

RESUMEN

La mejora de la productividad del trabajo en el sector construcción es muy importante ya que permitirá un mejor manejo de los recursos con que cuenta el país, lo que posteriormente se traducirá en beneficios como un mayor número de proyectos de construcción e incremento de los salarios con la consecuente mejora en los estándares de vida de las personas. Sin embargo, diversos estudios muestran que los niveles de productividad de la construcción no sólo no han mejorado sino que tienden a disminuir en los últimos años. Ante este panorama, una buena alternativa es seguir los pasos que llevaron a otras industrias, como la manufacturera, a incrementar su productividad.

Entonces, la presente tesis tiene por objetivo principal aplicar 2 metodologías utilizadas con mucho éxito en el sector industrial: una a nivel organizacional (Construcción sin Pérdidas) y otra a nivel tecnológico (Innovación Tecnológica). Ambas se utilizan para identificar oportunidades de mejora en la productividad del trabajo en proyectos de carreteras y de manera específica en procesos de pavimentación, se eligió este tipo de proyectos pues la bibliografía relacionada es inconclusa y su naturaleza repetitiva es una oportunidad para su estandarización.

Para lograr el objetivo planteado se desarrolló una guía de aplicación práctica de ambas metodologías, la cual se utilizó en el proyecto rehabilitación y mejoramiento de la carretera Ayacucho-Abancay Km. 50+000 - Km. 98+800 que cumplirá la función de caso de estudio. Luego, se propone planes de mejora que permitan capitalizar las oportunidades halladas en cuanto a la gestión de los recursos y además se analizó la viabilidad técnica y económica de implementar equipos con tecnología innovadora a los procesos constructivos.

Los resultados muestran que ambos enfoques se complementan de manera satisfactoria y además permiten identificar oportunidades de mejora en la productividad de procesos de pavimentación a través de la reducción pérdidas relacionadas a la eficiencia y la calidad del entregable e implementado nuevas tecnologías de construcción.

LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1 Modelo de Factores de Thomas y Yiakoumis	25
Tabla 2.2 Métodos de medición de productividad.....	30
Tabla 2.3 Los 11 Principios del Lean Construction.....	33
Tabla 2.4 Clasificación de pérdidas.....	35
Tabla 2.5 Simbología de los Mapas de Flujo de Valor.....	40
Tabla 2.6 Herramientas del Lean Construction.....	45
Tabla 2.7 Clasificación Genérica de la innovación	46
Tabla 2.8 Porcentaje de innovaciones en el sector inmobiliario holandés.....	53
Tabla 2.9 Técnicas para innovar.....	55
Tabla 2.10 Categorización de riesgos de innovación.....	58
Tabla 3.1 Cuadro de control de Procesos	68
Tabla 3.2 Fuentes de riesgo en la innovación	78
Tabla 4.1 Principales Partidas.....	81
Tabla 4.2 Espesores del pavimento	84
Tabla 4.3 Control de Procesos.....	86
Tabla 4.4 Problemas identificados.....	94
Tabla 4.5 Relación de indicadores para caracterización del flujo de producción	96
Tabla 4.6 Resumen del Control en Colocación de Sub Base	98
Tabla 4.7 Resumen del Control en Colocación de Base	99
Tabla 4.8 Resumen de desempeño de Sub Base Granular.....	100
Tabla 4.9 Resumen de desempeño de Base Granular	100
Tabla 4.10 Datos del estudio de Sub Base Granular	101
Tabla 4.11 Clasificación de las actividades	102
Tabla 4.12 Resultado del estudio de tiempos de la esparcidora Blaw Knox	102
Tabla 4.13 Indicadores TEP y TNCE del esparcido	104
Tabla 4.14 Datos del estudio de Nivelado y Refinado	105
Tabla 4.15 Datos del estudio de Compactación.....	105
Tabla 4.16 Fechas del estudio	105
Tabla 4.17 Clasificación del trabajo.....	106
Tabla 4.18 Cursograma analítico del nivelado y refinado.....	108
Tabla 4.19 Resumen de Cursograma Analítico de nivelado y refinado	109
Tabla 4.20 Cálculo de indicadores TNCE y TEP - Nivelado	110
Tabla 4.21 Clasificación del trabajo.....	111
Tabla 4.22 Cálculo de indicadores TNCE y TEP - Compactación	113
Tabla 4.23 Desabastecimiento de material - DESAB.....	113
Tabla 4.24 Tiempos de Inventario	116
Tabla 4.25 Desperdicios de material granular	116
Tabla 4.26 Disponibilidad Mecánica de equipos de pavimentación.....	117
Tabla 4.27 Tiempo de Ciclo - CT	118
Tabla 4.28 Producción promedio - Sub Base granular	119
Tabla 4.29 Producción promedio - Base granular.....	119

Tabla 4.30 Porcentaje del plan cumplido diario.....	119
Tabla 4.31 Matriz de Calidad.....	121
Tabla 4.32 Tiempos de No Calidad - NQT.....	124
Tabla 5.1 Defectos vs Acciones Correctivas.....	135
Tabla 5.2 Acciones correctivas para evitar la segregación.....	136
Tabla 5.3 Acciones correctivas contra los niveles de compactación deficientes...	136
Tabla 5.4 Ejemplo de progresivas vs fechas de finalización.....	138
Tabla 5.5 Ítems incluidos en el análisis de restricciones.....	141
Tabla 5.6 Formato de plan diario sugerido.....	144
Tabla 5.7 Cursograma analítico mejorado del nivelado y refinado.....	148
Tabla 6.1 Matriz de contradicciones.....	161
Tabla 6.2 Soluciones específicas.....	161
Tabla 6.3 Benchmarking tecnológico.....	164
Tabla 6.4 Prioridad de adquisición de innovaciones tecnológicas.....	171
Tabla 6.5 Alternativas Tecnológicas disponibles.....	172
Tabla 6.6 Sistemas de Nivelación en el Mercado.....	173
Tabla 6.7 Cuadro Comparativo de sensores de nivelación.....	175
Tabla 6.8 Viabilidad de las propuestas.....	177
Tabla 6.9 Matriz de riesgos e impacto de las propuestas de innovación.....	180
Tabla 6.10 Cuadrilla y avance diario propuesto.....	185
Tabla 6.11 Costos relacionados al proyecto de innovación.....	186
Tabla 6.12 Estimación de beneficios del proyecto de innovación.....	187
Tabla 6.13 Flujo de Caja para el proyecto de innovación tecnológica.....	187
Tabla 6.14 Indicadores de rentabilidad buscados.....	188

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 Índice de productividad.....	13
Figura 2.1 Estructura típica del pavimento asfáltico	20
Figura 2.2 Eficiencia y Eficacia	22
Figura 2.3 Marco Teórico de la Productividad	24
Figura 2.4 Factores que influyen en la productividad	25
Figura 2.5 Factores específicos que influyen en la productividad	26
Figura 2.6 Curva de influencia durante el ciclo de vida del proyecto.....	27
Figura 2.7 Los 5 principios de la producción sin pérdidas - Lean Production	32
Figura 2.8 Metodología para implementación del MFV.....	38
Figura 2.9 Formato de MFV.....	39
Figura 2.10 Ciclo de mejoramiento de la productividad	42
Figura 2.11 Niveles de programación del Last Planner	43
Figura 2.12 "Pull Phase" con pizarras de planeamiento	44
Figura 2.13 Pavimentos de concreto con geometría optimizada.....	48
Figura 2.14 Encofradora Deslizante - Cunetera	49
Figura 2.15 Dinámica de la Innovación Tecnológica	51
Figura 2.16 Metodología para incorporación de innovación tecnológica	52
Figura 3.1 Impactos de la Innovación y la Mejora Continua en el tiempo.....	61
Figura 3.2 Estrategia general para la mejora de la productividad	64
Figura 3.3 Etapas del Ciclo de mejora continua.....	65
Figura 3.4 Etapas para la incorporación de tecnología innovadora	66
Figura 3.5 Metodología para la medición del estado actual - Mejora Continua	69
Figura 3.6 Metodología para la evaluación de las causas - Mejora Continua.....	72
Figura 3.7 Pasos Especificos y Metodología para Intervención.....	73
Figura 3.8 Metodología para desarrollo del plan de implementación	74
Figura 3.9 Pasos Especificos y Metodología para Monitoreo	74
Figura 3.10 Metodología para Medición - Innovación Tecnológica.....	75
Figura 3.11 Tecnología de construcción y las fuentes de innovación	76
Figura 3.12 Metodologías para la evaluación - Innovación Tecnológica	76
Figura 3.13 Evaluación de alternativas seleccionadas - Innovación Tecnológica ...	77
Figura 3.14 Metodología para implementación - Innovación tecnológica	79
Figura 3.15 Metodología para captura del conocimiento.....	79
Figura 5.1 Asegurar el flujo - Problemas hallados y propuesta de mejora	134
Figura 5.2 Ejemplo de sesión de "Pull Phase".....	141
Figura 5.3 Problemas hallados vs propuestas de mejora - procesos eficientes	142
Figura 5.4 Tiempos improductivos menores.....	143
Figura 5.5 Imagen de escarificado de capas granulares	146
Figura 5.6 Problemas y oportunidades de mejora - Flujos eficientes	150
Figura 5.7 Sectorización y dimensionamiento propuesto	151
Figura 5.8 Interrupciones al libre flujo de material	152
Figura 5.9 Propuesta de ejecución de capas de Sub Base y Base	153
Figura 5.10 Mapa de Flujo de Valor Mejorado	155

Figura 6.1 Aplicación del principio de la Asimetría	162
Figura 6.2 Aplicación del principio de la Acción Previa.....	162
Figura 6.3 Aplicación del principio del reemplazo de un sistema mecánico.....	162
Figura 6.4 Aplicación del principio del reemplazo.....	163
Figura 6.5 Solución integrada.....	163
Figura 6.6 Vehículos de Transferencia de material	166
Figura 6.7 Compactación inteligente.....	166
Figura 6.8 Control del espesor mediante Escantillones.....	167
Figura 6.9 Instalación de sensores en pavimentadoras.....	168
Figura 6.10 Imagen del sistema con estación total.....	169
Figura 6.11 Terminadora de áridos Vogele.....	173
Figura 6.12 Imagen de adaptadores del sistema de sensores sónicos	178

LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS

✓ BCUP	: Brecha del Costo Unitario de Producción
✓ CPI	: Cost Performance Index
✓ DESAB	: Desabastecimiento de material granular
✓ DESP	: Desperdicio
✓ DM	: Disponibilidad Mecánica
✓ EV	: Valor Ganado
✓ FIFO	: Pasillo Primero en Entrar - Primero en Salir
✓ I+D+i	: Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación Tecnológica
✓ IME	: Equipos de Inspección, medición y ensayo
✓ INV	: Inventarios de trabajo en proceso
✓ ISP	: Informe Semanal de Producción
✓ MFV	: Mapa de Flujo de Valor
✓ NC	: No Conformidades de Calidad
✓ NQT	: Tiempo de no calidad
✓ PPC	: Porcentaje de plan cumplido
✓ PMI	: Project Management Institute
✓ PP	: Producción Promedio
✓ PPI	: Plan de Puntos de Inspección
✓ PVA	: Porcentaje de valor agregado
✓ QA	: Aseguramiento de la Calidad
✓ QC	: Control de Calidad
✓ SPI	: Schedule Performance Index
✓ TE	: Tiempo de Entrega
✓ TI	: Tiempo de Inventarios
✓ TIR	: Tasa Interés de Retorno
✓ TIF	: Tiempos Improductivos por falta de frente
✓ TNC	: Porcentaje de Tiempos No Contributorios
✓ TRIZ	: Teoría para la solución de problemas de Investigación
✓ TVA	: Tiempo de valor agregado
✓ VAN	: Valor Actual Neto
✓ VP	: Variabilidad de Producción

INTRODUCCIÓN

El sector construcción es uno de los motores del crecimiento económico de una nación, de su buen desempeño depende la mejora en la calidad de vida de la población. Un objetivo muy importante, entonces, es el relacionado al incremento sustentable de sus niveles de productividad, ya que de esta manera se racionalizan los recursos y será posible ejecutar mayor número de proyectos. Pero, comparado con otros sectores, la construcción no ha presentado grandes tasas de aumento en la productividad del trabajo.

El presente estudio aborda el problema de la mejora de la productividad del trabajo en procesos constructivos -especialmente en proyectos de carreteras- aplicando 2 metodologías de mucho éxito en el sector manufacturero: la construcción sin pérdidas (Lean Construction) y la Innovación Tecnológica. El primero aboga por mejoras del tipo organizacional en ámbitos como el planeamiento y la calidad que se reflejan de manera progresiva en la eficiencia de los recursos en el campo, mientras que el segundo aboga por mejoras mucho mayores al incorporar nuevos avances científicos en las tecnologías de construcción con la que se lleva a cabo los proyectos. Ambos enfoques no deben ser implementados aisladamente, sino que deben complementarse para obtener mayores beneficios. A continuación se resume brevemente el contenido de cada capítulo:

En el capítulo 1 se indica el problema que motivo la presente investigación, un breve repaso de los antecedentes encontrados durante la revisión bibliográfica y los objetivos que se buscan cumplir así como la metodología de investigación a emplear.

En el capítulo 2 se profundiza en el estado del arte de la productividad en la construcción y los fundamentos teóricos de la construcción sin pérdidas y la Innovación Tecnológica con el fin de elaborar un marco conceptual que permita establecer la guía de implementación de ambas metodologías a los procesos operativos en un caso de estudio que servirá para recolección de datos empíricos.

En el capítulo 3 se describe la guía de implementación de ambas metodologías para la mejora de la productividad de los procesos constructivos, la cual se compone de distintas etapas, técnicas y herramientas.

En el capítulo 4 se aplica la guía a un proyecto de carreteras ejecutado por la empresa COSAPI (caso de estudio), el objetivo en esta parte es realizar un diagnóstico cuantitativo del estado actual de los procesos constructivos de pavimentación en términos de las variables eficiencia, eficacia y calidad, de esta manera se identificarán oportunidades de mejora.

En el capítulo 5 se utilizan los principios de la metodología Construcción sin Pérdidas para proponer mejoras de nivel organizacional a los problemas hallados en el capítulo anterior, estas se dividirán en 3 grupos con orden de prioridad descendente: aseguramiento del flujo de producción, obtención de una cadena de producción estandarizada y estandarización de operaciones individuales.

En el capítulo 6 se proponen alternativas de Innovación Tecnológica al caso de estudio, se muestran además oportunidades de desarrollo de nuevas tecnologías mediante la aplicación de técnicas de innovación y un diagnóstico cualitativo de las brechas entre la tecnología de construcción utilizada y avances tecnológicos más recientes. Luego, se definen alternativas de cambio tecnológico y se lleva a cabo el análisis de viabilidad técnica y económica respectivo para definir la opción más rentable.

En el capítulo 7 se contrasta las conclusiones halladas producto de la discusión de los resultados con cada uno de los objetivos específicos y además se brinda recomendaciones para futuras investigaciones.

Finalmente, se señala que la presente investigación se realizó con el propósito de mostrar las oportunidades de mejora en la productividad del trabajo en proyectos de carretera mediante la aplicación y adaptación a nuestro medio de metodologías distintas a las tradicionales.

CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y GENERALIDADES

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA Y MOTIVACIÓN

La mejora de la productividad del trabajo es un objetivo estratégico al que deben aspirar todos los involucrados en proyectos de construcción civil, pues de esta manera se racionaliza el uso de recursos -especialmente los activos que suelen ser muy costosos- y de esta manera se pueden utilizar los mismos en otros proyectos contribuyendo al desarrollo económico de una nación a través de la creación de nuevos empleos, aumento de salarios entre otros. Sin embargo, como se puede observar en la figura 1.1, los niveles de productividad en la construcción, a diferencia de otros sectores, no han sufrido mejoras considerables desde los años 60 (Wodalski et al, 2011).

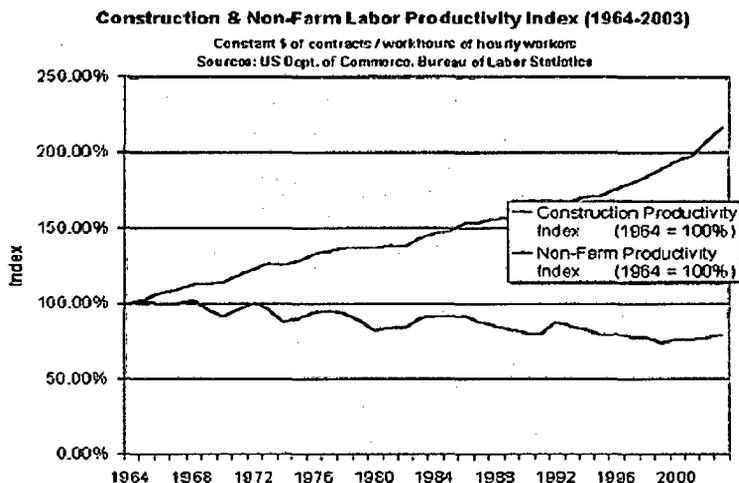


Figura 1.1 índice de productividad (tomado de "Applying Lean Techniques in the Delivery of Transportation Infrastructure Projects", Wodalski et al, 2011)

El gráfico mostrado es parte de un informe elaborado en los Estados Unidos, nuestro país no es ajeno a esta tendencia negativa, un estudio realizado por el Profesor Virgilio Ghio de la Pontificia Universidad Católica en el 2001 concluyó que los obreros en proyectos de edificación sólo realizan trabajo productivo en el 28% del tiempo total, lo cual implica que se está desperdiciando casi las tres cuartas del tiempo que dispone la mano de obra. Los proyectos de infraestructura como túneles, carreteras o centrales hidroeléctricas han sido poco estudiados en estos términos y es fácil inferir que sus niveles de productividad serán aun menores debido a la mayor variabilidad a la que se encuentran sometidas, estas inherentes

particularidades son comúnmente utilizadas como excusas por los responsables de los proyectos para justificar deficiencias en gestión y uso de recursos argumentando que estos no tienen solución (Nam y Tatum, 1998).

En el ámbito manufacturero ha sido posible incrementar los niveles de productividad mediante la aplicación conjunta de 2 enfoques: uno a nivel organizativo a través de la implementación de nuevos sistemas de gestión como los ciclos de mejora continua y el sistema Justo a Tiempo (Just in Time) -filosofías pertenecientes al sistema de producción esbelto de TOYOTA- y el segundo al incorporar nuevos avances tecnológicos en los procesos productivos (robótica, control de procesos industriales, automatización, etc.). En la construcción, los esfuerzos por incrementar la productividad han seguido el ejemplo del sector industrial. Muchas empresas constructoras han optado por incluir los principios de la mejora continua adaptados a la construcción (Lean Construction) dentro de sus organizaciones con buenos resultados -en su mayoría en proyectos verticales-. Pero, los crecientes niveles de competencia entre contratistas y la mayor complejidad en el manejo de los proyectos (mayor presión sobre plazos, costos calidad y seguridad) han generado que los niveles tecnológicos actuales no sean suficientes para cumplir los requerimientos siendo necesario también incluir conceptos de innovación y desarrollo tecnológico. La industrialización¹ mediante pre-fabricados y la automatización² de equipos de movimiento de tierras son buenos ejemplos de innovación Tecnológica. La innovación, a su vez, requiere de los principios de la mejora continua: “antes de” para evitar problemas de flujo que disminuyan sus potenciales beneficios (cuellos de botella tecnológicos), “durante” para una adecuada implementación y “después de” para el mantenimiento respectivo de las ventajas obtenidas y solución de nuevos problemas (Imai, 1998).

Por lo tanto, es necesario proponer una estrategia general que permita la aplicación de ambos enfoques para la mejora de la productividad en la construcción. En la presente tesis se estudiará la productividad en la construcción de pavimentos en

¹ Industrialización en el sector construcción: se define como la automatización de los proceso de diseño, producción, fabricación y gestión, empleando materiales, medios de transporte y técnicas mecanizadas en serie para obtener una mayor productividad (esto incluye a la pre-fabricación)

² Automatización: Se define como la aplicación de sistemas computarizados y tecnologías de información al control de los procesos industriales

carreteras pues su naturaleza lineal y repetitiva abre una oportunidad para su modelamiento como proceso industrial.

1.2 ANTECEDENTES

Las metodologías para mejorar la productividad del trabajo en la construcción se concentran en 2 grandes grupos, los que son de índole organizativa (con el auge de las filosofías de gestión de proyectos) y los que se basan en la incorporación de nuevos avances tecnológicos, tanto en la fase de diseño como en la ejecución, tomando siempre como referencia el marco de mejora de procesos que utiliza la ingeniería industrial. A continuación se enumeran algunas tendencias e iniciativas desarrolladas en lo referente a mejora de la productividad en la construcción:

Aspecto Organizativo:

Técnicas de la Organización Internacional del Trabajo: En la mayoría de proyectos de construcción se aplican técnicas como el estudio de tiempos, muestreo del trabajo, determinación del nivel generales de actividad de las cuadrillas durante procesos constructivos para mejorar la productividad, estos buscan determinar el nivel de eficiencia del trabajo que realizan las cuadrillas.

Aplicación de la metodología Lean a la construcción: Se han aplicado los principios de la filosofía de gestión Lean para la reducción constante de pérdidas (desperdicios) de los recursos a la construcción. Existen muchos casos documentados de su aplicación exitosa en proyectos verticales, en proyectos de infraestructura los casos de aplicación son menores en comparación con los proyectos verticales, una buena referencia es la aplicación de Lean Construction a la construcción de Túneles en Arabia Saudita (Wodalski et al, 2011)

Seguridad y Calidad: Los pobres niveles de seguridad y calidad son un problema crónico en la construcción y que es una causante de la baja productividad, en tal sentido las empresas constructoras han optado por llevar a cabo actividades de estandarización y sistematización de los procesos constructivos, esto es regulado por entes internacionales como la ISO, OSHA. Se encontraron casos de

implementación de normas a PYMES de construcción y la metodología de la curva de liberación de entregables pero no se hallaron estudios documentados específicos relacionados a la mejora de la productividad en pavimentación.

Aspecto Tecnológico:

Constructabilidad: Es la revisión crítica del diseño de un proyecto con el fin de reducir costos innecesarios y tomando en cuenta la fase constructiva. En el caso de carreteras se encontró diseños que reducen el espesor de los pavimentos mediante el uso de geotextiles lo que reduce la necesidad de explotar canteras y transporte trayendo como consecuencia mejor rentabilidad.

Pre-fabricación: Consiste en construir previamente elementos para montarlos en el lugar de trabajo lo cual es una gran ventaja frente al método tradicional de construcción en el sitio. Su uso en nuestro país actualmente está bastante extendido, sobre todo en elementos estructurales en edificaciones, pero en carreteras también se pueden observar casos de prefabricación de cabezales de alcantarillas.

Construcción Integrada por computadora: Las nuevas tecnologías de información permiten mejorar dramáticamente la fase de planeamiento de los proyectos, por ejemplo los sistemas BIM y VDC (de gran uso en edificaciones y plantas industriales) descartan el uso tradicional de planos en 2 dimensiones con lo que la cantidad de interferencias entre las distintas especialidades se reducen. En la empresa COSAPI se viene implementando una sala de planeamiento interactiva (i-room) para proyectos de carreteras que permita visualizar con mayor facilidad las restricciones en las progresivas donde se ejecutarán los trabajos.

Automatización y utilización de nuevos equipos: Este es un tema que viene siendo investigado en países desarrollados, con los últimos avances en robótica y domótica muchos fabricantes de equipos han implementado sistemas que permitan mejorar el desempeño de la maquinaria, por ejemplo, el uso de sensores GPS para mejorar la calidad en procesos de movimiento de tierras.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo principal

- ✓ Aplicar los principios de la metodología Construcción sin Pérdidas (Lean Construction) e Innovación Tecnológica para mejorar la productividad en la construcción de pavimentos asfálticos en carreteras

1.3.2 Objetivos específicos

- ✓ Elaboración de un marco teórico que resuma el estado del arte existente de las metodologías Construcción Sin Pérdidas (Lean Construction) e Innovación Tecnológica para el desarrollo de una guía de aplicación práctica a nivel operativo
- ✓ Realizar un diagnóstico del estado actual del flujo de procesos de pavimentación en un caso de estudio, identificando lecciones aprendidas que contribuyan a mejorar la productividad en proyectos posteriores
- ✓ Elaborar propuesta de mejora mediante los principios de la Construcción sin Pérdidas (Lean Construction)
- ✓ Identificar las alternativas de innovación tecnológica más convenientes y evaluar la viabilidad de su incorporación en los procesos constructivos

1.4 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

- ✓ Es posible complementar el enfoque de gestión por procesos que señala el PMI (Project Management Institute) con la metodología Construcción sin Pérdidas (Lean Construcción) y la Innovación Tecnológica
- ✓ Los procesos constructivos y los de gestión son de complejo entendimiento, las herramientas que brinda el pensamiento Lean facilitan su análisis y evaluación
- ✓ Utilizar nuevas tecnologías disponibles en el mercado en los proyectos de construcción incrementará la productividad en la medida que se estudie su viabilidad técnica, económica y riesgos inherentes

1.5 METODOLOGIA DE INVESTIGACIÓN

Inicialmente se revisará la bibliografía relacionada a productividad en la construcción. Se profundizará en los modelos de mejora de la productividad y en los fundamentos teóricos de los mismos, los cuales comprenden conceptos de sistemas de gestión de proyectos como el del PMI (Project Management Institute), Teoría de Restricciones (TOC) y el enfoque Lean (construcción sin pérdidas). También se revisará conceptos de innovación y las técnicas para su desarrollo que sean compatibles con el objetivo principal del estudio y dado que la mayoría de propuestas de mejora basadas en innovación tecnológica traen consigo inversiones de dinero considerables, entonces también será importante investigar aspectos relacionados al estudio de factibilidad. La información encontrada servirá para proponer una guía de aplicación basada en los principios de la construcción sin pérdidas (Lean Construction) e innovación tecnológica que sean aplicables a la empresa que patrocina la presente investigación. Sin embargo, debido a la gran cantidad, diversidad y unicidad de proyectos existentes es muy difícil obtener una muestra estadística que valide la aplicación de la metodología propuesta y sus resultados. Para superar esta limitación, se utilizará la metodología de investigación denominada "estudio del caso", este tipo de metodología es muy parecida a los experimentos, es decir que son generalizables a afirmaciones teóricas más no a poblaciones o universos (Craig, 1980). Además, el estudio del caso se suele utilizar como punto de partida para la implementación de nuevos enfoques y/o tecnologías en organizaciones (proyectos piloto).

Entonces, la presente investigación aplicará las metodologías Construcción sin Pérdidas e Innovación Tecnológica a un proyecto de carreteras que COSAPI llevó a cabo en la sierra peruana el año 2013 con el fin de identificar lecciones aprendidas del mismo que puedan retroalimentar a las distintas áreas en la oficina central (presupuestos, producción, planeamiento, etc.) y mejore el desempeño de futuros proyectos.

Finalmente, se discutirán los resultados para obtener conclusiones y se realizarán recomendaciones específicas acerca de la mejora de la productividad en procesos de pavimentación en carreteras.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 PAVIMENTOS

Es el componente fundamental de la infraestructura vial –camino, carreteras, aeropuertos- la estructura de un pavimento está formada por capas inferiores de material granular, que pueden estar en su estado natural o tratadas previamente con aglomerantes y/o agentes estabilizadores y una capa superficial (de rodadura). Existen numerosos criterios para clasificación de pavimentos, ya sea por su tiempo de vida útil, por su estructura y por el tipo de tránsito que soportará, sin embargo la clasificación general de los pavimentos depende de la manera en que transmiten las cargas al terreno desde su capa más superficial –esto varía en función del tipo de material de dicha capa- si está compuesta de cemento Portland se denominará Pavimento de Concreto Hidráulico, en cambio si fuera más conveniente la utilización de materiales bituminosos y granulares será del tipo Asfáltico. En el presente estudio se profundizará dentro del ámbito de Pavimentos Asfálticos.

2.1.1 Requisitos de calidad de la estructura de pavimentos asfálticos

El desarrollo de la infraestructura vial de un país está estrechamente vinculado con la integración y el crecimiento económico, por tanto es imperativo garantizar la calidad en los proyectos de ampliación, rehabilitación y mantenimiento constante de la red vial nacional. Para garantizar el correcto desempeño de los pavimentos asfálticos según los parámetros establecidos deben cumplirse las siguientes características:

- ✓ Resistencia a las cargas: Debe soportar las diversas solicitaciones a las que será sometido
- ✓ Confort: Debe brindar una adecuada capa superficial que asegure una cómoda y eficiente circulación
- ✓ Capacidad drenante: Debe mantener sus características al contacto con el agua

Un pavimento asfáltico se compone de diversas capas, del satisfactorio comportamiento de cada capa de manera independiente dependerá el correcto desempeño del pavimento en su conjunto. En la figura 2.1 se puede apreciar la

estructura típica del pavimento asfáltico apoyado sobre el terraplén (sub-rasante): Sub base granular, base granular y carpeta asfáltica. Los espesores y grados de compactación varían de acuerdo a los requerimientos y la metodología del diseño adoptado.

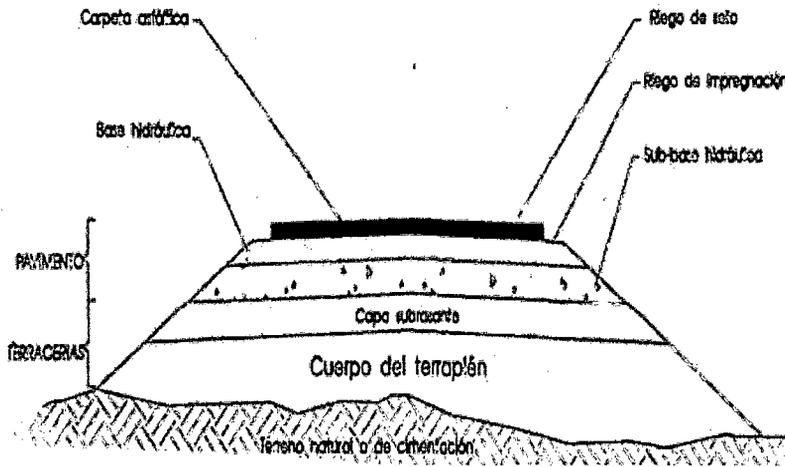


Figura 2.1 Estructura típica del pavimento asfáltico (tomado de "Generalidades sobre Pavimentos", disponible en <http://es.slideshare.net/yamilethgarcia15/generalidades-de-pavimentos-y-vas-de-comunicacin>, visita realizada el 10 de julio del 2014)

La calidad de los pavimentos se garantiza al cumplir con los requisitos de las normas técnicas que brinda cada agencia gubernamental de transportes, en el caso peruano el Ministerio de Transportes y Comunicaciones a través de la Dirección General de Caminos y Ferrocarriles (DGCF) publica periódicamente el Manual de Carreteras "Especificaciones Técnicas Generales para Construcción –EG" cuya última versión se publicó el año 2013. En ella se reúnen los requisitos de calidad que los proyectos deben cumplir. En este punto cabe indicar que la segregación de material de base y sub base granular no es tratada con la profundidad debida, ya que sólo existen recomendaciones en la etapa de diseño, pero no incluye el componente operativo que también influye en la aparición de capas segregadas. Por ello es conveniente seguir recomendaciones de artículos más especializados en el tema, por ejemplo "Segregación: Causas y Soluciones" de Don Brock y James May (1994) posee un profundo análisis de las causas de la segregación en todas las etapas del proceso constructivo (diseño de mezcla, dosificación, transporte y esparcido), otro buen ejemplo es "Managing Stockpiles" de Mary Foster con gran cantidad de recomendaciones sobre las condiciones más adecuadas para el almacenamiento de agregados en pilas para evitar problemas de segregación. Además también se debe tomar en cuenta investigaciones sobre la elección de

rodillos y las frecuencias vibratorias más convenientes para la compactación de suelos en capas granulares. Roberto Centeno (2010) aclara, luego de gran cantidad de tramos de prueba con vibro-compactadores, que las frecuencias altas (y de amplitud baja) de hasta 2500 RPM son las recomendadas para compactar material granular como el que compone la Base y Sub Base.

2.2 PLANIFICACIÓN Y CONTROL DE PROYECTOS

De acuerdo a la guía del PMBOK³, la planificación viene a ser una parte del ciclo de vida de los proyectos en el cual se debe definir con detalle los objetivos que se deben cumplir, las mejores alternativas para lograrlo y los procedimientos que se llevaran a cabo en ese sentido. Mientras que el seguimiento y control viene a ser la actividad encargada de detectar posibles desviaciones a lo planeado, por ejemplo un costo en un determinado trabajo que está por encima de lo presupuestado debe ser detectado a tiempo con el fin de corregirlo.

Dada la importancia de la planificación y control en los proyectos se entiende la necesidad de disponer de conceptos, herramientas y soporte informático que permitan generar la información requerida así como su eficaz procesamiento para la posterior toma de decisiones.

2.2.1 Procesos de Planeamiento

El Project Management Institute (PMI) brinda los pasos a seguir para una adecuada planificación, totalizando 24 procesos de planeamiento según la quinta edición del PMBOK. Donde, como se indicó anteriormente, se integran otras áreas del conocimiento además del costo y el tiempo para formar el plan de gestión general con el que se desarrollará el proyecto. Sin embargo, las estrategias de planificación del PMI no son las únicas que puede aplicarse a la construcción, existen otros enfoques igualmente valiosos que son utilizados para la gestión de proyectos y han resultado más eficientes y eficaces que el del PMI en ciertas áreas en particular. Se puede citar casos como el Just In Time para la gestión de las adquisiciones, Six Sigma para la gestión de la calidad, el sistema de planificación Last Planner

³ PMBOK: El "Project Management Body of Knowledge" es el conjunto de conocimientos en Gestión de Proyectos que son reconocidos como «buenas prácticas», y por lo tanto son considerados como el estándar

(Ballard, 2001) y la Teoría de Restricciones (Goldratt, 1984) para la gestión del Tiempo. Esta 2 últimas pueden integrarse entre sí y dada sus ventajas prácticamente han dejado de lado la planificación convencional mediante el empleo de diagramas Gantt y la identificación de la Ruta Crítica (Critical Path Method).

En la presente tesis se citará los procesos más relevantes de los sistemas de gestión citados anteriormente en función del objetivo principal y que serán los utilizados durante el desarrollo de la investigación.

2.3 PRODUCTIVIDAD EN LA CONSTRUCCIÓN

2.3.1 Definición de Productividad

La productividad del trabajo en sistemas productivos se define mediante la relación siguiente:

$$Productividad = \frac{Input}{Output}$$

Donde el término input indica la cantidad de recursos utilizados y Output hace referencia al producto (unidad con valor económico adquirido) producido con los recursos mencionados. El concepto es válido para la industria de la construcción y se le suele reconocer con nombres como: ratios de producción, capacidad del proceso, rendimientos de avance por recurso, etc. Todas las definiciones se refieren a lo mismo, la cantidad de recursos empleados por cada unidad o entregable (en términos constructivos: m³ de concreto, m² de base colocada y compactada, unidades de pernos de sostenimiento inyectados). Podemos dividir la productividad que se obtiene de acuerdo al tipo de recurso empleado:

- ✓ Mano de Obra: Se expresa como la cantidad de Horas Hombre requeridas para la producción de un entregable determinado. (m² de encofrado/HH empleadas)
- ✓ Equipos: De igual manera que la mano de obra, sólo que en este caso se considera la cantidad de Horas Máquina. (m³ de excavación/HM empleadas)
- ✓ Materiales: Se refiere a la cantidad de material utilizado, se suele usar en partidas donde los materiales posee mucha incidencia o están sujetos a mucha variabilidad, por ejemplo el colchón de arena necesario para tendido de tuberías

en obras de saneamiento o la utilización de material granular para conformación de base (ml de base/m³ de material granular)

Al contrastar la cantidad de recursos utilizados contra los presupuestados en la planificación del proyecto (como medida de control) nace la idea de la eficiencia: adecuado uso de los recursos al momento de ejecutar los trabajos. Sin embargo, de nada serviría tener un óptimo control de los recursos cuando no se cumplen las metas establecidas en el tiempo requerido (eficacia), el modelo de la figura 2.2 muestra los conceptos.

		Utilización de Recursos	
		Buena	Pobre
Logro de Metas	Alto	Efectivo y Eficiente ALTA PRODUCTIVIDAD	Efectivo pero ineficiente
	Bajo	Eficiente pero inefectivo	Ineficiente e inefectivo

Figura 2.2 Eficiencia y Eficacia (Adaptado de "Administración de Operaciones de Construcción", Serpell Bley, Alfredo, Chile, 2000)

También es necesario considerar que el concepto de productividad se actualiza constantemente, en los últimos años se ha demostrado que no puede desarrollarse una tarea con altos estándares productivos si no se realiza con la calidad necesaria. En este contexto Alfredo Serpell (2000) establece que la productividad es: "la medición de la eficiencia con la que los recursos son administrados para completar un proyecto específico, dentro de un plazo establecido y con un estándar de calidad dado".

2.3.2 Factores que afectan la productividad en la construcción

Actualmente existen diversos modelos de gestión con los cuales se trata de obtener altos niveles de productividad: iniciando desde el desarrollo conceptual de la ingeniería (constructabilidad), una buena planificación y adecuadas técnicas de

control de calidad (equipos de laboratorio, topografía, etc.). Una vez desarrollado esos 3 aspectos es posible optimizar el uso de los recursos en la operación.

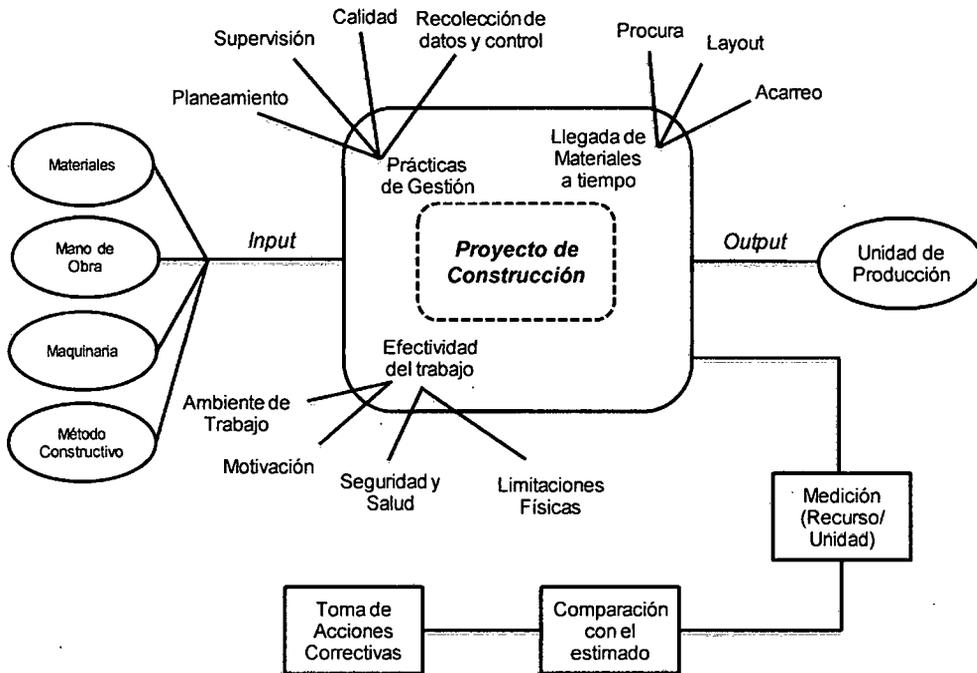


Figura 2.3 Marco Teórico de la Productividad (Adaptado de "Productivity in Construction", Dozzi S, Canadá y Productividad en obras de construcción, Ghio, PUCP, 2001)

De acuerdo a la figura 2.3, la productividad es responsabilidad de diversas áreas dentro de los proyectos y tiene un componente tecnológico visualizado mediante los recursos y el método constructivo que se seguirá con los mismos para la construcción y también tiene un componente organizacional compuesto de áreas como la planificación, supervisión, calidad y además influye el factor humano y sus limitaciones. Thomas y Yiakoumis en el año 1987 proponen el "Modelo de Factores" para interpretar el comportamiento de la productividad en base a los elementos que la impactan, el cual está basado en la teoría de sistemas, donde la producción se representa como una serie de procesos de conversión tecnológica, según Thomas, los procesos (y por ende la productividad) son influenciados por 3 tipos de factores: del proceso, del contenido de trabajo y externos, cada uno posee diversos indicadores que los caracterizan, en la tabla 2.1 se observa la relación de factores con sus indicadores y algunos ejemplos.

Tabla 2.1 Modelo de Factores de Thomas y Yiakoumis (adaptado de "Factor Model for Construction Productivity", Estados Unidos, 1987)

FACTOR	INDICADOR	EJEMPLOS
Del Proceso	Capacidad de recurso humano de obra (CRO) Índice de capacidad de recurso humano en obra (ICRO) Administración del proyecto (AP) Productividad del Proceso (PP) Productividad acumulada (PA) Productividad acumulada total (PAT)	Planificación y programación de actividades Supervisión en el sitio de trabajo Metodología constructiva Disposición de frentes de trabajo Procura (disponibilidad de materiales) Disponibilidad de equipos Disponibilidad de información
Ambiente Externo	Indice de Clima (IC)	Condiciones climáticas Relación con los sindicatos Corrupción
Contenido del Trabajo	Grado de complejidad (GC) Horizonte de productividad (HP) Día Anormal (DA)	Especificaciones Técnicas Grado de complejidad Disposiciones contractuales

2.3.3 Productividad en Obras Viales

En obras viales, la productividad también se verá afectada por los factores mencionados anteriormente, al ser de característica lineal y emplazadas en zonas alejadas, factores climáticos y de disponibilidad de recursos tendrán mayor impacto. En la figura 2.4 se presenta un resumen de los 4 factores que influyen en la productividad de las obras viales y sus respectivas caracterizaciones.

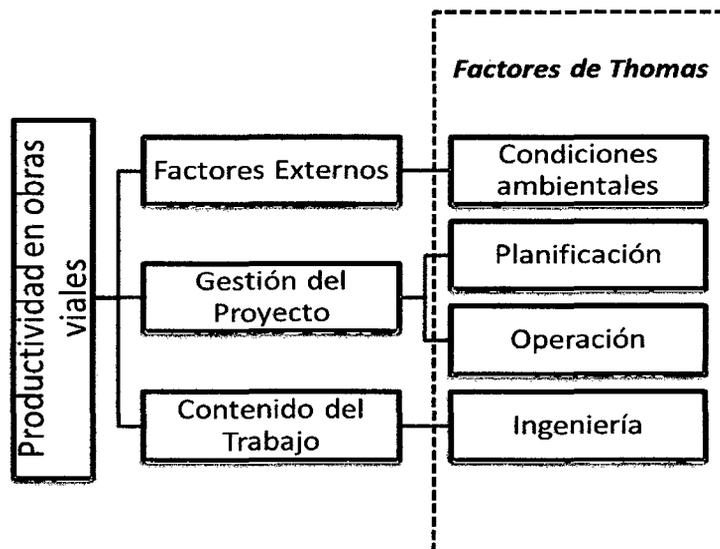


Figura 2.4 Factores que influyen en la productividad (elaboración propia)

El modelo planteado en 2.4 puede tornarse más específico tomando en cuenta los problemas que por lo general se presentan de manera problemática durante la ejecución en carreteras (ver figura 2.5).

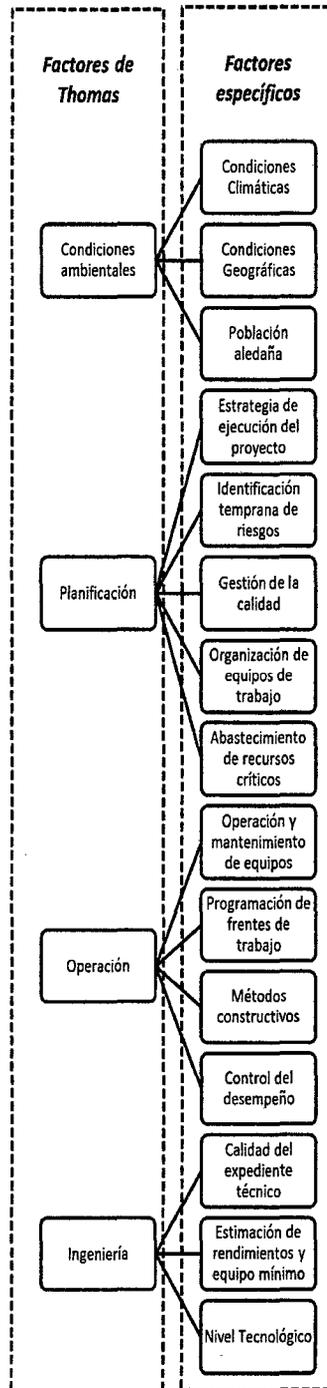


Figura 2.5 Factores específicos que influyen en la productividad (elaboración propia)

Los factores específicos señalados en 2.5 pueden manifestarse de diversa forma, por ejemplo un inadecuado plan de mantenimiento predictivo de los equipos traerá consigo detenciones en el frente de trabajo por falla de la maquinaria. También se debe añadir que las condiciones de contratación para la ejecución de obras de carreteras en el Perú se rigen por la normatividad de obras públicas en general siguiendo la secuencia: diseño, licitación y construcción. Por lo tanto, el factor ingeniería está prácticamente fuera del control del contratista.

Una investigación realizada por el Instituto de la industria de la construcción de Estados Unidos (CII por sus siglas en inglés) determinó que la influencia en el desempeño de los costos -y de la productividad- de un proyecto es mayor en las etapas tempranas de su ciclo de vida, como se aprecia en la figura 2.6. Entonces, no teniendo control sobre la concepción inicial ni el diseño del proyecto, las oportunidades de obtener buenos resultados se basan en optimizar los factores que afectan la planificación y ejecución.

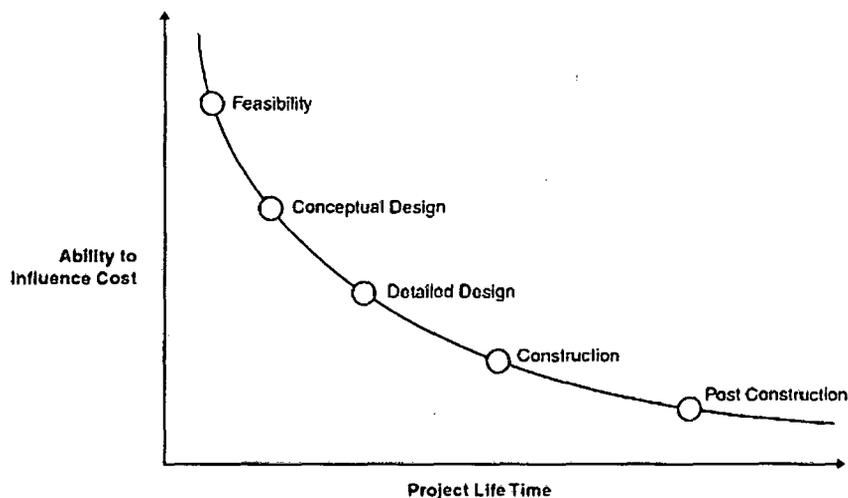


Figura 2.6 Curva de influencia durante el ciclo de vida del proyecto (Tomado de "Design and Construction", R. Best, Reino Unido, 2002)

2.3.4 Herramientas de control y medición de la productividad

Dentro de la gestión de la productividad, es de suma importancia emplear metodologías y herramientas que permitan controlar y evaluar cuantitativamente la productividad de los recursos utilizados durante las faenas de construcción.

2.3.4.1 Control de la Productividad

Partiendo de la idea principal del seguimiento y control: "lo que se puede medir se puede mejorar", si se desea aumentar los niveles de productividad, este debe ser medido en términos que permitan identificar su comportamiento en el tiempo, esto, sin embargo, puede realizarse en niveles claramente diferenciados: tarea, proyecto e industria (Huang et al, 2009). Las tareas en obras de construcción son las diversas actividades unitarias en la ejecución del proyecto, el nivel proyecto está formado por todas las actividades que la componen y el nivel industria está enfocado en medir la producción de una población determinada (implica utilizar indicadores a nivel macro) lo cual facilitará el benchmarking.

La manera más precisa para controlar la productividad a nivel de tareas es a través del indicador de: número de unidades producidas por recurso utilizado, o su recíproco, la cantidad de recursos utilizados por cada unidad producida (conocido como ratio de producción). Al igual que los procesos de seguimiento y control del costo, el control de la productividad realiza comparaciones entre lo planificado y lo obtenido realmente, con la diferencia que estos reportes se realizan con mayor frecuencia (semanal e inclusive diario en algunos casos) y no son globales como los resultados operativos -que muestran el balance financiero total del proceso-, sino que obtienen ratios del consumo de recursos por unidad producida para así determinar la eficiencia del uso de los mismos. La técnica del Valor Ganado (EV) también puede utilizarse en este sentido obteniéndose las Horas Hombre o Máquina ganadas o perdidas por unidad producida a una fecha determinada, aunque en costo sería más exacto dada la variedad de tarifas de la mano de obra y equipos que componen las cuadrillas. Según el Manual de Gestión de Proyectos de COSAPI, la productividad se controla mediante un reporte semanal denominado ISP (Informe Semanal de Producción) el cual se lleva a cabo mediante los registros de avance brindan los ingenieros de campo y el consumo de horas hombre y horas máquina.

2.3.4.2 Medición de la productividad

El control de la productividad es una buena forma de identificar tendencias desfavorables con respecto a lo planificado pero no permite conocer los problemas

y dificultades existentes en el campo que son las causales de dichas brechas negativas. Debido a esto se hace necesario medir la productividad de manera mucho más específica, este procedimiento se puede realizar de manera indirecta al observar el nivel de efectividad del trabajo de los recursos (Dozzi, S. y AbouRizk, S., 1993), para ello diversos procedimientos de recolección y procesamiento de datos se han establecido, por ejemplo son conocidas las técnicas de la Organización Internacional del Trabajo (OIT).

- ✓ **Estudio del trabajo:** Lo conforman la medición del trabajo y el estudio de métodos, estos tienen su origen en el siglo XIX con la aparición de la administración científica⁴ y vienen siendo utilizados con éxito aún en nuestros días. Su objetivo principal es indagar en el trabajo que se realiza en el campo considerando la mano de obra y equipos para determinar la mejor manera y el tiempo mínimo en que se puede completar la tarea basado en la observación crítica (su soporte matemático es la estadística descriptiva).
- ✓ **Simulación:** Es un método más reciente y que conlleva mayor tecnología y soporte matemático, esta técnica obtiene datos de manera similar al estudio del trabajo pero esta vez no sólo se limita a identificar los problemas que vienen ocurriendo sino que realiza gran cantidad de simulaciones para identificar la mejor combinación de rendimientos, recursos y tiempos necesarios. En los antecedentes de la presente tesis se presenta casos donde se aplicó modelos Cyclone para la medición de la productividad.
- ✓ **Medición en tiempo real:** La idea del método es corregir las posibles desviaciones negativas en el mismo intervalo de tiempo en que se vienen ejecutando. De esta manera se evita tomar decisiones sobre realidades que posiblemente ya no existan más. El soporte tecnológico que requiere es procesadores y sistemas de almacenamiento de información en línea mediante conexión inalámbrica. Para el caso de las obras viales la mayoría de datos se recogen con ayuda de GPS.

⁴ Administración Científica: Fue desarrollada a inicios del siglo XIX por el ingeniero Frederick Taylor, quien intentó incorporar el método científico al estudio del trabajo de los obreros

- ✓ **Identificación de retrasos:** No es un método de medición cuantitativo, sino cualitativo y es de mucha utilidad como complemento de los demás métodos. Una vez determinado los tiempos, recursos y el sistema de trabajo de una cuadrilla es muy importante conocer su impresión sobre los problemas ajenos a su responsabilidad que conllevan al retraso o a la detención de las actividades.

Tabla 2.2 Métodos de medición de productividad (elaboración propia)

Técnica	Herramientas	Descripción
Medición del trabajo	Análisis de tiempos y movimientos Nivel general de actividad (muestreo) Registros filmicos	El objetivo es identificar y eliminar el tiempo improductivo de los recursos (MO y EQ)
Estudio de métodos	Carta Balance Diagrama de recorridos (Layout plant) Cursograma analítico Diagrama de hilos	Se busca aumentar el tiempo productivo mediante la reducción creativa de la carga de trabajo
Simulación	EZStrobe Cyclone First Run Studies	Permite visualizar el estado futuro de las operaciones mediante algoritmos de programación y simulacros en campo
Control en tiempo real	Redes neuronales Técnica de monitoreo con procesador inalámbrico y GPS (obras viales)	Almacena y procesa datos de rendimiento en tiempo real utilizando tecnologías de información y dispositivos tecnológicos
Identificación de retrasos	Focus Group con el equipo de proyecto Method of Productivity Delay Model Entrevista con los capataces	Determina las causas más frecuentes de detenciones en el frente de trabajo

2.4 MEJORA CONTINUA EN LA CONSTRUCCION

2.4.1 Mejora Continua

La mejora continua es una filosofía de gestión que busca mejorar asegurar la satisfacción del cliente (calidad del producto final) y flexibilizar los procesos de producción. El pionero de este concepto fue Sir Edwards Deming (1900-1993) quien postuló los ciclos de calidad a través del cual era posible realizar frecuentemente pequeñas mejoras hasta que su efecto acumulado redujera las fallas al mínimo. Posteriormente el concepto se volvió más general involucrando no sólo fallas de calidad sino otros tipos de problemas (pérdidas) y se trasladó del ámbito operativo a todos los niveles y etapas dentro de un proyecto. La mejora continua es básicamente una cultura con la que todos dentro de un equipo deben

comprometerse y que no sólo debe aplicarse cuando aparecen malos resultados. Diversas metodologías se han desarrollado para lograr este cometido dentro de las organizaciones tales como la Producción sin Pérdidas (Lean Production), Kaizen, Control Total de la Calidad (TQM), Seis Sigma entre otras. Las tres primeras están muy relacionadas e inclusive Lean abarca al Kaizen y al TQM, el hecho de dividir las de esta manera se basa a trabajos de investigadores que las han desarrollado de manera individual, en la presente tesis sólo se estudiará el Lean Production como metodología para la mejora continua pues ha sido adaptada para el sector construcción.

2.4.2 Producción sin Pérdidas (Lean Production) y definición del valor

La idea principal detrás de la metodología de gestión Lean (sin pérdidas) es entregar al cliente un producto con el máximo valor agregado y utilizando la menor cantidad de insumos posible para su producción, para ello es importante definir previamente el concepto **valor**. Esta idea se materializará al modelar la producción de un determinado producto como un flujo de procesos interrelacionados y ya no como la serie de procesos de conversión tecnológica aislados. Entonces, dentro del flujo, existirán aquellos que añaden valor -por los que el cliente está dispuesto a pagar-, los restantes se denominan **pérdidas** (desperdicio, muda, grasa, etc.) y deben ser eliminados. Las pérdidas originales fueron las esperas y los inventarios. Luego se incluyeron conceptos de **calidad** desarrollados por Sir Edwards Deming en el cual la calidad era mucho más que la mera inspección de productos. Fue dentro de la compañía automotriz TOYOTA, donde se pusieron en práctica los conceptos mencionados, con lo que se mejoró los niveles productivos de tal manera que llegó a convertirse en un jugador importante a escala mundial, llegando a superar a la General Motors que había liderado el mercado de fabricación de autos por más de 50 años. Este hecho motivó que una comitiva del Massachusetts Institute of Technology (MIT) investigara detenidamente los motivos de tal éxito, los resultados se publicaron en el famoso libro "The Machine that Changed the World" (Womack y Jones, 1990) sentando las bases de la filosofía de gestión. Los mismos autores posteriormente publicarían un segundo libro donde enumeran los 5 principios que sigue dicha filosofía de gestión (Ver figura 2.7) y la denominaría como Lean Thinking.

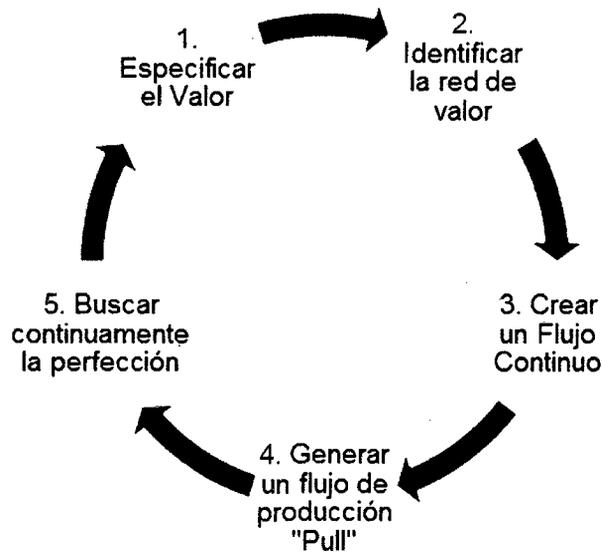


Figura 2. 7 Los 5 principios de la producción sin pérdidas - Lean Production (adaptado de "La gestión del Valor en la producción", Vargas, Teófilo, IIFIC, 2011)

El libro "Lean Thinking" además presenta distintos niveles en los que la metodología Lean se puede aplicar en las organizaciones:

- ✓ A nivel productivo (Lean Production): A este nivel se utilizan los principios para optimizar el flujo de procesos en el área operativa, donde se crea el valor.
- ✓ A nivel de organización (Lean Company): Cuando los principios se aplican en todos los procesos dentro de la compañía dando énfasis en la cadena de abastecimiento mediante el compromiso a largo plazo con proveedores.
- ✓ A nivel de emprendimiento (Lean Enterprise): A este nivel, la organización busca crear valor en todos los aspectos de la compañía, a nivel de mercado por ejemplo mediante la búsqueda de nuevos modelos de negocios sustentados en los principios Lean.

2.4.3 Construcción sin Pérdidas

El modelo de gestión mostrado surgió en la manufactura, en varios niveles y escalas, la construcción puede asemejarse a los procesos industriales. El Dr. Koskela, en su tesis de doctorado (2000), critica el enfoque tradicional con el que se ejecutan los procesos constructivos y sugiere la adaptación de los principios del

Lean Thinking (al nivel de producción) a la industria⁵ de la construcción siguiendo el modelo del valor en los flujos de producción (modelo T-F-V)⁶ y ya no como el tradicional modelo de procesos de conversión tecnológica aislados. De acuerdo a Koskela la construcción debe ser representada como un flujo de procesos donde las entradas no sólo se componen de insumos (mano de obra, materiales y equipos) sino también de información (planos, órdenes de trabajo, etc.), que luego de ser inyectados pasarán por diversos procesos hasta obtener el producto final. Dicho producto puede estar en proceso de transformación, en espera, transporte o siendo inspeccionada, estas 3 últimas las actividades son las que no añaden valor (pérdidas). Los modelos tradicionales de diseño, producción y organización no identifican ni realizan esfuerzos para eliminarlas, resultando en excesos de tiempo y recursos lo cual se traduce en baja productividad y poca confianza en los cronogramas elaborados. Al igual que el Lean Thinking, el Lean Construction posee principios conceptuales que la definen. Cuando se integren los 11 principios propuestos por Koskela en las diferentes dimensiones de la gestión de la producción se estará aplicando Lean Construction en el campo (ver tabla 2.3)

Tabla 2.3 Los 11 Principios del Lean Construction (Adaptado de "Application of the new Production Philosophy to Construction", Koskela, 1992)

Criterio	Principios
Mejorar Procesos	Incrementar la eficiencia de las actividades que agregan valor Enfocar el control de procesos al proceso completo Introducir el mejoramiento continuo de los procesos Referenciar permanentemente los procesos (Benchmarking)
Reducir Pérdidas	Reducir la participación de actividades que no agrega valor Reducir la variabilidad Incrementar la flexibilidad de las salidas Reducir el tiempo de ciclos Minimizar los pasos de manera de simplificar el proceso Incrementar la transparencia de los procesos
Valor - Cliente	Aumentar el valor del producto considerando los requerimientos del cliente

⁵ Una industria se define como "actividad económica y técnica que consiste en transformar las materias primas hasta convertirlas en productos adecuados para satisfacer las necesidades del hombre", la construcción actualmente satisface esa definición

⁶ Modelo Transformación-Flujo-Valor (T-F-V): Es un modelo que idealiza los procesos de la producción considerando no sólo los propios de conversión sino también aquello como inspecciones, esperas y re-trabajos con el fin de reducirlas para disminuir el tiempo del ciclo

2.4.4 Definición de valor en términos de los clientes

Uno de los puntos más importantes para una exitosa aplicación de los principios del Lean Construction a los proyectos es la identificación del valor en términos del cliente, una vez identificado este se podrá identificar todos aquellos que aspectos que no contribuyen a generar dicho valor. Cada cliente posee su propia apreciación sobre que les genera valor, por ejemplo para un compañía minera la seguridad – manifestado en las tasas de accidentabilidad- serán primordiales, por otro lado los clientes dueños de cadenas hoteleras preferirán entregables lujosos. Sin embargo, los parámetros fundamentales en toda obra serán medidos en función de que el costo se encuentre dentro del presupuesto, el tiempo de entrega (Lead Time) sea el menor posible y la calidad del producto sea como mínimo la requerida en las EETT. Cada uno de manera singular o la combinación de todos representarán la definición del valor en los clientes.

2.4.5 Pérdidas y clasificación

Originalmente se creía que las pérdidas eran sólo aquellos desperdicios de materiales durante la ejecución de las obras (e.g. restos de concreto, acero, etc.), esta errónea concepción se debía al modelo tradicional de conversión tecnológica con el cual se modelaba la construcción y además porque estos desperdicios físicos son más fáciles de observar. Sin embargo, la nueva filosofía de producción citada en párrafos anteriores permitió reconocer que existían otras clases de pérdidas ya no sólo asociada con el desperdicio físico de los materiales en el campo, Koskela (1992) asoció las pérdidas también con factores de calidad, constructabilidad, seguridad y tiempos improductivos, estos generarán re-trabajos, paras, trabajos ineficiente que no añadirán valor al producto ya que sólo incrementan los costos y plazos y por lo tanto disminuyen la eficiencia de todo el flujo en sí. Entonces, las pérdidas no sólo serán debido a desperdicios de materiales sino también a trabajos innecesarios. El impacto de estas pérdidas en la productividad y costo es muy alto, Lucio Soibelman (2000) de la universidad de Illinois, estudio pérdidas "indirectas" en procesos constructivos en 5 obras concluyendo que el desperdicio es casi 8 veces el valor estimado originalmente, Flávio Picchi (1993) de la universidad de Sao Paulo estimó que el porcentaje de costos asociados a pérdidas en obras de edificaciones es aproximadamente la

tercera parte del costo total, cuyas mayores fuentes son “reparación de obras entregadas” y “sobre espesores de mortero”.

Luego de reconocer la existencia de las pérdidas y su impacto negativo, es necesario clasificarlas para una mejor gestión de las mismas, Shingo, basándose en el marco del sistema de producción esbelto de Ohno, fue el primero en proponer tipos de pérdidas de acuerdo a su naturaleza enumerando en total siete. Posteriormente Koskela y Bolkiven (2014) reconocen la necesidad de desarrollar una lista con las pérdidas más comunes en la construcción y que las agrupe en función de la teoría T-F-V, la tabla 2.4 resume la clasificación mencionada:

Tabla 2. 4 Clasificación de pérdidas (Adaptado de “The Wastes of production in construction – A TFV based taxonomy” Bolviken et al, IGLC 22, 2014)

	Transformación (T)	Flujo (F)	Valor (V)
Recurso	Materiales, equipos, fuerza laboral	Tiempo	-
Tipo de Pérdida	Pérdida Material	Pérdida de Tiempo	Pérdida de Valor
Pérdidas	<ol style="list-style-type: none"> 1. Desperdicio de materiales 2. Uso excesivo de HM 3. Uso excesivo de HH 	<p>En el Flujo de Trabajo</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Movimiento excesivo de personal 2. Re-Trabajos 3. Trabajos ineficientes 4. Esperas <p>En el Flujo del Producto</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Espacio libre sin trabajar 2. Materiales acumulados 3. Excesivo transporte de materiales 	<p>En el Producto</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Defectos 2. Producto no satisface al cliente <p>Por el Producto</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Emisiones contaminantes 2. Lesiones y enfermedades debido al producto
		EFICIENCIA	EFICACIA

2.4.6 Lean para la mejora de la productividad del trabajo

Los fundamentos teóricos de Koskela (1992) fueron el punto de partida para posteriores investigaciones en el tema que trataban de superar las dificultades que aparecieron al asemejar la construcción a un flujo lo cual involucraba realizar cambios en el planeamiento y en el diseño, estos esfuerzos culminaron con la fundación del Lean Construction Institute (1997) en Estados Unidos. Este organismo internacional se encargó de difundir la teoría con el objetivo de ganar adeptos en el mundo para demostrar los potenciales beneficios que puede brindar,

los doctores Glenn Ballard y Greg Howell, miembros fundadores, se encargaron de brindar soporte académico y recopilar los resultados de las diversas iniciativas de implementación. Pero, a pesar de ello, el hecho de que aún no se haya difundido en otros rincones del mundo se debe a la falta de un entendimiento de la teoría en términos aplicativos, es decir que desde la perspectiva operativa es difícil aplicar los conceptos ya que la construcción es mucho más compleja que los procesos manufactureros, e inclusive a nivel de los teóricos más renombrados existen contradicciones y falta de un camino claro a seguir lo cual lleva a malos entendimientos y por tanto implementaciones defectuosas (Wandhal, 2014), un ejemplo de esto es la búsqueda del Dr. Lauri Koskela de una teoría de producción en sus tesis de doctorado donde critica el enfoque de Womack y Jones por su falta de rigurosidad. Además, se han realizado diversas investigaciones en proyectos y empresas que abogan haber implementado Lean Construction pero muchos de ellos sólo se limitan a utilizar la herramienta Last Planner y de manera incorrecta, dejando de lado otros aspectos importantes como la estandarización de procesos y ni que decir de los matices más complejos como el cambio de la cultura organizacional y del liderazgo.

El panorama narrado en el párrafo anterior es tal vez el escollo más importante al momento de implementar la metodología Lean a los procesos constructivos, entonces para cumplir con los objetivos de la presente tesis se revisó material bibliográfico desde una perspectiva práctica. En ese sentido Akira Inokuma (2014), de la federación de constructores de Japón, analiza el sistema de producción TOYOTA y su evolución en el tiempo y luego resume las ideas principales en términos relacionados a la gestión de proyectos de construcción. Según Akira Inokuma, desde un punto de vista práctico el Lean Thinking se compone de 2 ideas fundamentales: el Jidoka (método que detiene la producción cuando un defecto es reconocido) y el Just-In-Time (método que asegura una línea de producción eficiente), estas 2 ideas evolucionaron y se adecuaron a la construcción mediante los conceptos del aseguramiento de la calidad y de la gestión de producción, donde esta última se basa en determinar el tiempo que las tareas en el campo deberían tomar de manera ideal. A partir de estas 2 ideas él plantea que para efectos de la construcción de proyectos civiles la metodología Lean es una técnica de gestión que incluye 3 características principales:

- ✓ Aseguramiento de la calidad a través de la detección automática de defectos y desviaciones durante la ejecución
- ✓ Mejoramiento de la productividad mediante remoción de pérdidas a través de la determinación del tiempo meta de producción mediante la estandarización de la línea de producción, de los procesos repetitivos y el planeamiento racional de la producción y controlando el tiempo meta y el tiempo real obtenido
- ✓ Descubrimiento y solución de problemas y mejoramiento continuo relacionado a los 2 ítems anteriores

Sin embargo, existen lecciones aprendidas como: uno es que se necesita un cambio profundo a nivel organizacional en las compañías que lo aplican, pues se requiere que la alta dirección se comprometa a cambiar el modelo de producción con el que se gestionan los procesos lo que incluye crear una cultura de colaboración, empoderamiento de los trabajadores y aprendizaje continuo; otra lección (y tal vez la más importante) es que esta nueva filosofía fue concebida en Japón cuya cultura, valores y forma de trabajo son distintas a las nuestras, en Sudamérica -y en el Perú- se tiende más hacia el individualismo, la competencia y a romper constantemente las reglas mientras que Lean Construction propone la disciplina y la cooperación entre todos los miembros del equipo, por ello se requiere más investigación para adecuar esta filosofía a nuestro medio.

El común denominador de los casos exitosos ha sido la correcta aplicación de las herramientas que proporciona el Lean Construction ya que estas facilitan la implementación de la cultura y de los 5 principios fundamentales (ver figura 2.9) dentro de las organizaciones

2.4.6.1 Mapa de Flujo de Valor (MFV)

Un principio fundamental de la filosofía Lean -como se mencionó en la figura 2.9- es definir y entender correctamente el concepto de valor y donde se origina este dentro de la cadena de actividades que se siguen, luego, la prioridad será añadir el máximo valor y reducir aquellas que no lo añaden. Entonces, es primordial conocer como el valor que se añade al producto desde los insumos iniciales hasta su entrega, esto puede definirse a 2 niveles: al nivel macro entre distintos procesos que comprenden la entrega del producto (cadena de valor general) o a nivel micro

dentro de un proceso en particular (flujo o red de valor del proceso). Al optimizar el flujo de valor de cada proceso y luego la cadena de valor que forman todos los procesos de la organización se obtendrá un elemento que diferencie a la organización de las demás y la vuelve competitiva.

La herramienta Mapa de Flujo de Valor (MFV) es un tipo de mapeo especial que permitirá estudiar a profundidad los procesos de la cadena de valor de una organización, los cuales incluirán procesos de transformación, diseño y soporte, (Rother y Shook, 1999). El MFV aplicado a la producción permitirá conocer todas las etapas de conversión y también las actividades de flujo necesarias como la inyección de recursos e información, esta característica explica la conveniencia de su aplicación para enfrentar problemas como la baja productividad, debido a que la mayor fuente de pérdidas en la construcción están en los flujos (Ghio, 2001). Esta herramienta es una poderosa arma para el diagnóstico y mejora del estado actual de un flujo de procesos, pero posee su propia metodología de aplicación y lenguaje. La figura 2.8 indica el diagrama que sigue el MFV para su implementación.

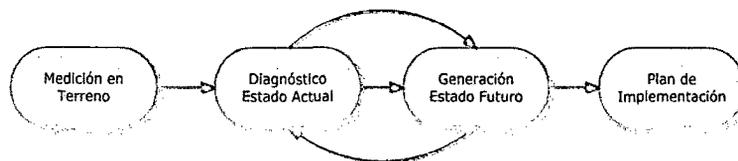


Figura 2. 8 Metodología para implementación del MFV (Adaptado de "Learning to see", Rother y Shook, 1999)

Para utilizar el MFV se debe seleccionar un proceso repetitivo y constante a lo largo de todo el proyecto. Luego se realiza un diagnóstico del estado actual para detectar las fuentes de pérdidas. En el mapa se visualizan las etapas para la realización del producto hasta su entrega incluyendo flujos internos de información, materiales y abastecimiento de recursos, las partes que componen lo componen son las siguientes (ver figura 2.9):

1. Recursos (insumos)
2. Flujos de información
3. Entrega de productos

4. Etapas de conversión e indicadores
5. Línea de tiempo
6. Leyenda

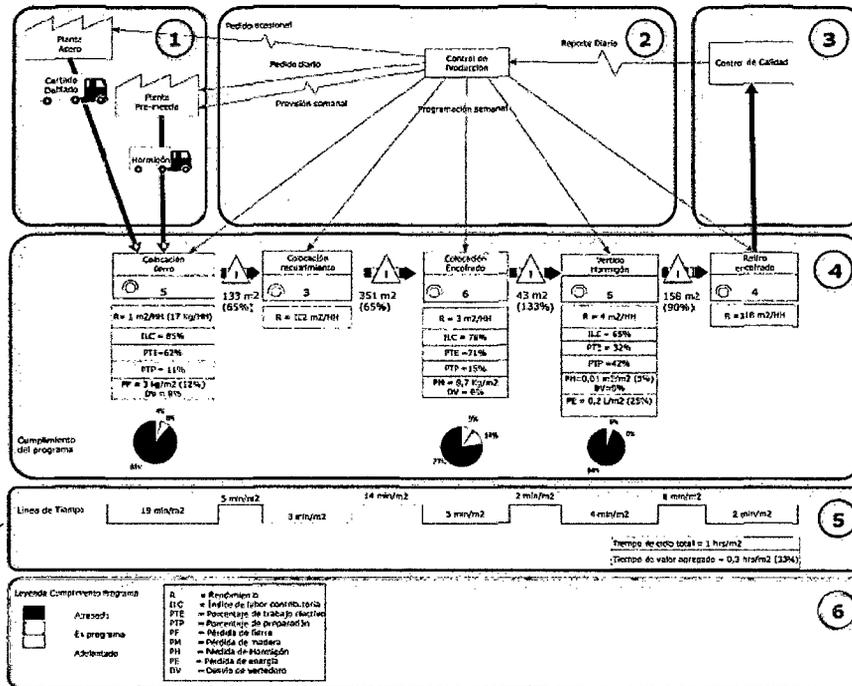
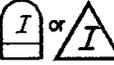
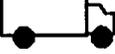
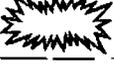


Figura 2.9 Formato de MFV (Tomado de Rosenbaum, Sergio. "Aplicación de Mapas de Cadena de Valor para detección de pérdidas productivas y medioambientales", Chile, 2012)

Luego del diagnóstico, se debe buscar posibles soluciones a las actividades que no añaden valor halladas, las cuales deben buscar soluciones reactivas (inmediatas) como la simplificación de pasos y flujos de información y materiales más rápidos y las proactivas que requerirán de mayor tiempo y trabajo para su implementación (planeamiento, constructabilidad, innovación, etc.). El MFV mejorado servirá para planificar el cambio involucrando a todas las áreas de las que dispone un proyecto mediante la asignación de responsabilidades. La herramienta posee su propio lenguaje el cual está compuesto de símbolos para su interpretación, la tabla 2.5 muestra los principales símbolos que utiliza.

Tabla 2. 5 Simbología de los Mapas de Flujo de Valor (elaboración propia)

Símbolo	Nombre	Definición
	Agente externo	Representa una fuente de recursos (proveedor)
	Proceso de conversión	Representa un proceso de conversión tecnológica por el cual fluyen los recursos
	Flujo empujado	Muestra una unidad de flujo que es "empujada" hacia la siguiente
	Supermercado	Representa una fuente de acumulación de recursos o de trabajo, esto es necesario cuando es muy difícil obtener flujos continuos
	Inventarios	Señala la existencia de inventarios (ya sea de trabajo en proceso o de productos terminados)
	Control de Producción	Representa el o los departamentos de producción que están a cargo de las actividades en campo
	Información manual	Representan un flujo de información por medios no informáticos (comunicación verbal o radial por ejemplo)
	Información electrónica	Representa flujos de información electrónicos
	Puesto Kanban	Señala un puesto de tarjetas kanban para monitorear la cantidad de productos que 1 proceso le da al siguiente
	Línea de tiempo	Muestra los tiempos durante el flujo de producción en que se añade valor y en los que no
	Casilla de datos	Contiene los indicadores que caracterizan los procesos de conversión
	Transporte	Representa el transporte de recursos (materiales) que abastecerán al proceso
	Kanban de retiro	Representa el flujo de tarjetas de kanban que indica la cantidad de productos o trabajo que se debe retirar del supermercado para dárselo a otro proceso
	Flujo Jalado	Muestra los flujos que se mueven de acuerdo al requerimiento de los procesos siguientes
	Evento Kaizen	Un evento kaizen representa mejoras específicas a implementar en determinadas partes del mapa
	Operarios	Representa el número de operarios que un proceso tecnológico posee

El Mapeo de Flujo de Valor nació en el ámbito manufacturero, y por lo tanto su debe ser adaptada a la construcción, al respecto se han realizado numerosos estudios en distintas áreas y niveles de la industria (ya sea en gestión de la cadena de

abastecimiento o en actividades como albañilería). Yu H. Lian (2009) enfatiza las restricciones que se deben superar para utilizar el MFV en la construcción:

- ✓ Los procesos deben ser repetitivos: en la industria esto es sencillo de obtener pues los mismos procesos se realizan miles de veces, pero en la construcción - los métodos constructivos deben adaptarse a sus condiciones únicas (diseño, especificaciones, emplazamiento, contrato, etc.) y no tendría sentido gastar tanto esfuerzo en procesos que no se volverán a repetir
- ✓ Dado que el MFV es una herramienta cuantitativa requiere gran cantidad de datos de la producción lo cual implica tener un sistema de seguimiento y control eficiente y que sea sometido a validación
- ✓ Es necesario entrenar al equipo del proyecto en el lenguaje Lean
- ✓ Por lo general las etapas que sigue la cadena de valor en la construcción son complejas y sometidas a mucha variabilidad
- ✓ Los parámetros del MFV (Tiempo de Ciclo, Inventarios, etc.) son más sencillos de calcular en fábricas que en las actividades de construcción en campo, por ejemplo en las industrias es sencillo observar y contar los inventarios mientras que en la construcción estos no lo son

2.4.6.2 Ciclos de Mejoramiento Continuo

El mejoramiento continuo se basa en buscar constantemente oportunidades de racionalizar el uso de los recursos y reducir pérdidas, la manera más sistemática de implementar estos principios es mediante los ciclos de mejora continua. El ciclo original se componía de 4 pasos: Planear-Hacer-Verificar-Actuar de Sir Edward Deming, el cual fue utilizado inicialmente para la mejora continua de la calidad.

Las filosofías de mejora continua, se originaron en el ámbito manufacturero, su uso en el sector construcción requerirá su adaptación a las diversas peculiaridades del sector como la unicidad del producto, la constante desintegración de los equipos de trabajo entre otros:

- ✓ Problemas más complejos que involucran conocimiento técnico, experiencia y entendimiento de los procesos naturales de la zona de emplazamiento siendo muy difícil resolverlos sin un profundo análisis

- ✓ Los equipos de trabajo (cuadrillas y personal de dirección) se desintegran al término de cada proyecto.
- ✓ El tiempo de ejecución es mucho mayor a la fabricación de lotes de productos
- ✓ Alto grado de variabilidad en los procesos a diferencia de una planta manufacturera donde se tiene control sobre todos los factores
- ✓ Frentes de trabajo alejados entre sí que dificultan el control
- ✓ El producto es único
- ✓ Dificultad de identificación y reducción de inventarios

Alfredo Serpell (2003) propone un ciclo de mejora continua de la productividad para procesos constructivos que se compone de 3 etapas, este ciclo hace hincapié en el control de productividad a través de un sistema en base a indicadores que midan la productividad de manera general o por cada proceso en particular tal que pueda estudiarse de forma objetiva y plantear metas cuantificables (ver figuras 2.10)

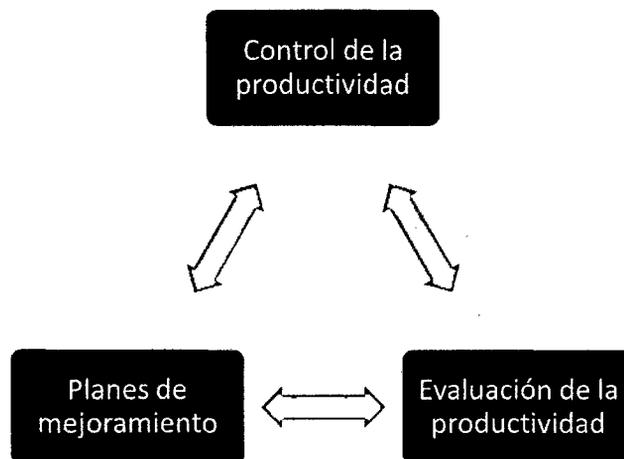


Figura 2.10 Ciclo de mejoramiento de la productividad (Adaptado de "Administración de Operaciones de Construcción", Serpell, 2003)

2.4.6.3 Control y Planeamiento de la Producción (*Last Planner*TM)

Glenn Ballard (2000), en su tesis de doctorado, manifiesta que una buena fuente de pérdidas en los proyectos de construcción se debe a la pobre planificación de las actividades que origina gran variabilidad en la producción, lo que además disminuye la confiabilidad en lograr los plazos estipulados. En ese sentido, propone una nueva

metodología de programación con mayores niveles de detalle y horizontes variables, iniciando en el cronograma maestro general hasta programaciones semanales y diarias inclusive. La idea principal detrás de esta metodología es dejar que los encargados de las operaciones (personal de producción) sean quienes programen las actividades lo que permitirá determinar y levantar las restricciones que impiden realizarla, evitando así detenciones en el flujo, esto los convertirá en los últimos planificadores de dónde proviene el nombre. Pero, toda programación deberá ser coordinada con las áreas de planeamiento para verificar si lo programado sigue la planificación contractual (cumplimiento de los hitos). La figura 2.11 muestra los niveles de planeamiento que posee el Last Planner.

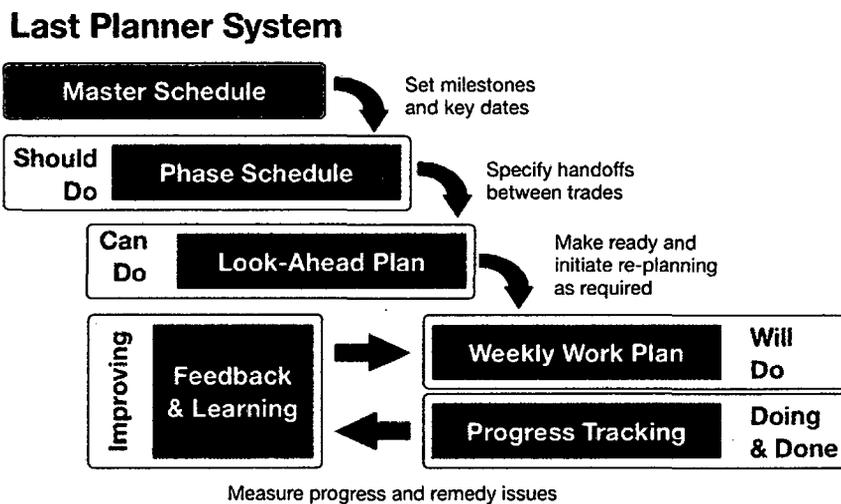


Figura 2.11 Niveles de programación del Last Planner (tomado de <http://ennova.com.au>, visita realizada el 02 de enero del 2013)

En nuestro medio, la aplicación del Last Planner se encuentra muy difundida, siendo probablemente la de mayor utilización e inclusive se utiliza como herramienta para la integración de la gestión de la producción con la gestión de la calidad, riesgos, seguridad y abastecimiento. Sin embargo, en la mayoría de casos sólo se utiliza la programación Look Ahead con un pobre análisis de restricciones, y no se toma en cuenta la etapa anterior "Phase Schedule" que ha sido recientemente implementada, esta etapa utiliza pizarras de planeamiento para mejorar el nivel de identificación de restricciones y coordinación entre las distintas áreas del proyecto. La figura 2.12 muestra una reunión típica de "Pull Phase" para el planeamiento de las actividades.

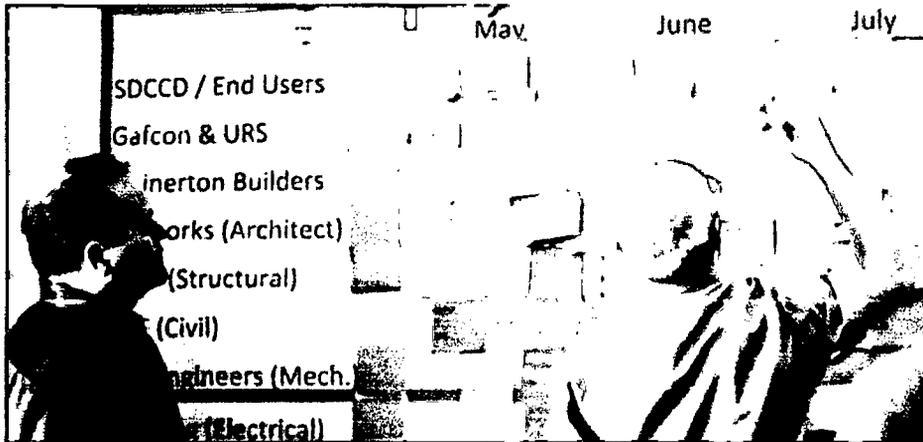


Figura 2.12 "Pull Phase" con pizarras de planeamiento (visita online <http://www.umstotsolutions.com/resources/pull-planning/>, el 12 de enero del 2014)

Tampoco se toma en cuenta las fases posteriores de Look Ahead que brindan planeamientos detallados de horizonte semanal y diario, estas última conocidas como "instrucción de trabajo" es parte fundamental del sistema de programación Last Planner al ser conocida la robusta correlación de las instrucciones verbales y errores e ineficiencias en el campo. La herramienta Last Planner es muy útil pero debe ser complementada con otras actividades como el feedback entre trabajadores (conocidas en el mundo Lean como eventos Kaizen) para identificar y solucionar problemas referidos a la calidad y con el incremento del compromiso del área de producción. Un caso que se desarrolla en nuestro medio es el de la empresa EDIFICA: en cuyos planes diarios los ingenieros de campo y capataces deben firmar demostrando de esa manera su compromiso por el cumplimiento de las metas. De esta manera se utiliza eficientemente el concepto más importante del Last Planner pues se deja que quienes están en contacto directo con el trabajo sean los últimos planificadores.

2.4.6.4 Otras herramientas

Aparte de las 3 herramientas mostradas anteriormente, Lean Construction provee otras herramientas para su implementación dentro de los proyectos de construcción, estas se pueden usarse tanto para el diagnóstico y para mejora: por ejemplo si se detecta que la cadena de abastecimiento es una fuente importante de pérdidas se aconsejará usar la herramienta Justo a Tiempo (Just In Time). Sin embargo, cada herramienta posee sus propias características, por lo que

dependiendo de la naturaleza de la herramienta y del proyecto en que se quiera aplicar será más o menos difícil aplicarlas. Wodalski (2013) se basó en los resultados de la implementación de estas herramientas a obras verticales para identificar el grado de dificultad de su aplicación en proyectos de carreteras, en la tabla 2.6 se enumera diversas herramientas que se usarán en la presente tesis, una breve descripción y su grado de dificultad.

Tabla 2.6 Herramientas del Lean Construction (adaptado de Koskela, 1992; Wodalski, 2013)

Ítem	Herramienta	Descripción	Dificultad de implementación
1	Diagramas de flujo	Se encarga de mapear todos los procesos involucrados dentro del proceso asignando tiempos y responsabilidades	Moderado
2	Los 5 ¿por qué?	La causa raíz de los problemas por lo general se encuentra al preguntar 5 veces ¿por qué? al efecto encontrado	Moderado
3	Diagramas Causa-Efecto y Árbol de causas	Estos diagramas enumeran gráficamente relaciones de causalidad que originan los efectos negativos	Moderado
4	Justo a Tiempo (Just in Time)	Se basa en entregar al frente de trabajo los recursos que necesita cuando lo necesita, de esta manera elimina los inventarios	Difícil
5	Reuniones diarias de planeamiento (Pre-task planning)	Mediante reuniones diarias entre los trabajadores antes de iniciar los trabajos y anticiparse a posibles problemas	Fácil
9	Reducción del tamaño del lote de transferencia	Al reducir el tamaño del lote de transferencia se comprime el tiempo total de ejecución y se reducen los inventarios	Moderado
6	Sistemas basados en jalar	Este sistema se basa en producir de acuerdo a los requerimientos del último proceso de la cadena de producción para así evitar acumular inventarios entre cada proceso	Moderado
8	Tarjetas Kanban	Son de mucha utilidad en procesos que involucran numerosas etapas (e.g. habilitado de acero), consiste en tarjetas que indican la cantidad de piezas que requiere el proceso siguiente	Difícil
10	Círculos de mejora continua	Consiste en reunir a los trabajadores que ejecutan los trabajos para encontrar soluciones a problemas de desempeño detectados a escala pequeña	Fácil
11	Estandarización de trabajos	Es un concepto que ha sido adquirido por los sistemas de gestión de calidad, se basa en la utilización de procedimientos estandarizados para disminuir la variabilidad durante la ejecución	Moderado
12	Las 5 "S"	Proviene de las 5 "S" en japonés, muy útil para detectar pérdidas en el frente de trabajo debido a falta de orden, limpieza y estandarización de trabajos	Fácil

2.5 INNOVACIÓN

El término Innovación refiere a la introducción, desarrollo e implementación de un nuevo o mejorado proceso, producto o método de comercialización que (Manual de Oslo, 2005) conducirá al aumento de las ganancias a través de la consecuente reducción de costos e incremento de la productividad en las actividades. La innovación, sin embargo, es un concepto complejo que debe dividirse en diversas ramas para un mejor entendimiento y aplicación. Por ejemplo, la implementación de ideas innovadoras puede darse en ámbitos tecnológicos, del mercado u organizacional (Afuah, 1998), en la tabla 2.7 se resume con mayor detalle la clasificación mencionada.

Tabla 2. 7 Clasificación Genérica de la innovación (Adaptado de "Innovation management: Strategies, implementation, and profits", Afuah, 1998)

Tecnológica	Mercado	Organizacional
Producto	Servicio	Estrategia
Proceso	Precio	Estructura
-	Lugar	Sistema
-	Promociones	Personas

Sin embargo, el impacto de cada tipo de innovación mostrado en la tabla 2.7 es variable dependiendo de la naturaleza de la idea innovadora, aplicabilidad y otros factores. Es posible que se dé un tipo de innovación basada en niveles tecnológicos tan distintos a los existentes que el conocimiento que se tiene hasta ese momento quedará obsoleto (**Innovación Radical**), pero también puede darse el caso que la innovación trae consigo mejoras importantes -estimulada por la competencia- pero construida sobre el knowhow existente (**Innovación Incremental**) (Serpell, 2013). Tanto la innovación radical como la incremental tienen un fuerte componente tecnológico y de gestión del conocimiento. Aunque también puede darse el caso de que no se desarrolla una nueva tecnología sino se aplica una tecnología ya existente, pero de otra manera (**Innovación Ortogonal**).

2.5.1 Innovación Tecnológica en la Construcción

Previamente debe definirse el concepto de **tecnología de construcción**: conjunto de métodos, procesos constructivos, materiales, equipos, personal y las

interrelaciones que poseen para llevar a cabo una operación, estas interrelaciones pueden darse por ejemplo en la manera en que se opera un equipo o como este trabaja con los materiales. Luego, una **innovación tecnológica** es cuando una tecnología de construcción se utiliza para realizar una tarea en un proyecto por primera vez. La innovación tecnológica tendrá mayor impacto en la construcción que en otros sectores (manufactura, servicios, etc.) ya que sus niveles de desarrollo tecnológico se encuentran muy atrasados con respecto a los demás, esto se hace evidente al observar la mayoría de las obras, en donde se siguen utilizando las mismas tecnologías que hace 1 o 2 décadas (Ghio, 1997).

Por lo anterior se deduce que las compañías constructoras deben tener en cuenta los potenciales beneficios de incorporar innovación tecnológica dentro de las organizaciones, la cual puede ser de 2 maneras (ver tabla 2.7), ya sea dentro del proceso donde el cliente no lo percibirá pero su implementación traerá consigo reducción de costos y tiempos además de mejoras en la calidad, o también puede ser innovando el producto en donde el cliente sí lo percibirá volviéndose una fuente de adicional de valor añadido y aumento de las ventas.

2.5.1.1 Casos de innovación de producto

La idea detrás de este tipo de innovación es proporcionar al cliente de un producto que satisfaga necesidades insatisfechas con el nivel tecnológico considerado por los diseños existentes. Tipos de necesidades insatisfechas pueden ser la durabilidad de materiales, costos reducidos, resistencia mecánica a mayores cargas entre otros. Para satisfacer estas nuevas necesidades se requiere desarrollar investigación aplicada, un buen ejemplo es los constantes experimentos que se realizan en las mezclas de concreto con nuevos aditivos. A continuación se citan un par de ejemplos de innovación de producto:

- ✓ *Pavimentos de concreto con geometría optimizada:* Esta innovación chilena permite reducir los espesores de las capas de pavimentos de concreto mediante una ingeniosa de dimensionamiento de las losas de tal forma, que estas nunca sean cargadas por más de un set de ruedas del vehículo, logrando disminuir significativamente las tensiones. Los resultados preliminares indican que incluso serían más económicos que el equivalente de asfalto (ver figura 2.13).

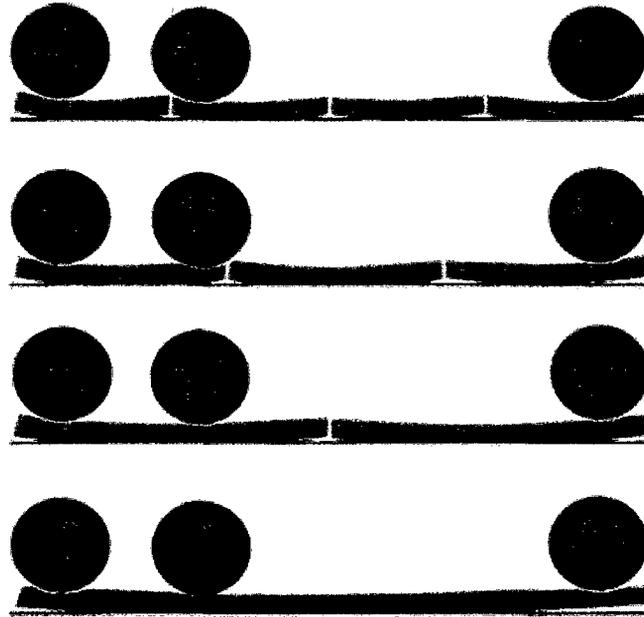


Figura 2.13 Pavimentos de concreto con geometría optimizada (tomado de "Diseño de losas de hormigón con geometría optimizada", Cobarrubias, Chile, 2012)

2.5.1.2 Casos de Innovación de proceso

Consiste en utilizar nuevas tecnologías en los procesos productivos para reemplazar aquellos ineficientes y así mejorar el desempeño operacional en la producción (reducción de costos, tiempos, mejora de la calidad, etc.). Este tipo de innovación, al igual que la del producto, viene de la mano con la investigación y el crecimiento tecnológico. Algunos ejemplos son los equipos de construcción que realizan más eficientemente el trabajo de una cuadrilla (Encofradora deslizante o cuneteras) y equipos que ejecutan varias tareas a la vez (Carmix para dosificación, mezcla y transporte de concreto). Pero, también se da el caso de nuevas técnicas constructivas que disminuyen el tiempo de ejecución como la pre-fabricación y modularización de elementos de concreto (vigas, losas pre-fabricadas y encofrados metálicos) o el método Kompaktasphalt para ejecución de carpetas asfálticas. A continuación se describe brevemente algunas innovaciones de este tipo:

✓ Fresadoras de asfalto

Mediante las fresadoras en frío, se puede reciclar material de alta calidad para reutilizarlo en posteriores actividades, ahorrando costos en eliminación y

reduciendo el volumen de material a utilizarse para reparación de superficies de rodadura, algunos equipos cuentan con fajas que expelen el material directamente a los volquetes, lo cual representa una ventaja pues no es necesario una cuadrilla de eliminación -con los equipos como retroexcavadoras, mini cargadores y la mano de obra que esto implica-.

✓ Encofradora Deslizante (Cunetera)

Dada las características lineales y repetitivas de las cunetas, es rentable estandarizar las secciones de concreto requeridas en los planos de construcción mediante las extendedoras de encofrado deslizantes o cuneteras, reduciendo personal en el armado de encofrados y colocación de concreto, además de aumentar considerablemente los metros lineales de avance por día (ver figura 2.14)

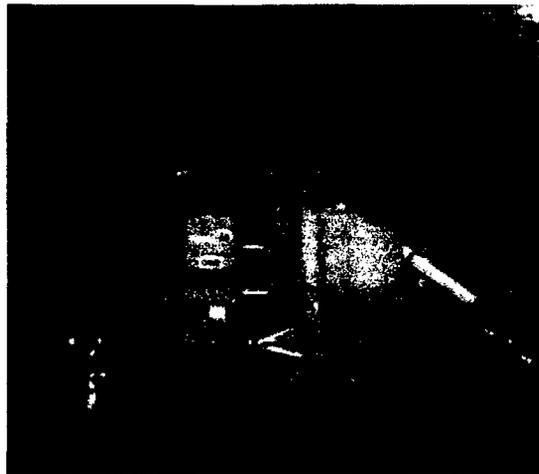


Figura 2. 14 Encofradora Deslizante - Cunetera (fotografía propia)

2.5.2 Dinámica de la innovación tecnológica

Las tecnologías así como los seres vivos poseen un ciclo de vida finito, cuyo comportamiento puede comprenderse a través del modelo de madurez tecnológica propuesto por Richard Foster (1987), que relaciona la evolución de la tecnología en el tiempo (desde su concepción hasta su obsolescencia) con la cantidad de beneficios que pueden generar a una determinada industria, formando una curva "S" con 4 fases:

- ✓ Fase de emergencia: Es el período de aparición y desarrollo incipiente de una tecnología, esta aun viene siendo experimentada en centros de investigación. En esta etapa, por lo general, los rendimientos técnicos de esta tecnología son menores que los de otras tecnologías con mayor antigüedad, este es el caso de la nanotecnología aplicada a materiales de construcción que tiene el potencial de generar un cambio sustancial en las propiedades ingenieriles de los materiales.
- ✓ Fase de Crecimiento: La tecnología ya ha sido caracterizada completamente pero no se han solucionado posibles problemas secundarios de sus aplicaciones ni se ha masificado su utilización. En esta etapa el potencial de mejora es todavía indefinido por lo que aparecen gran cantidad de aplicaciones en el mercado pero a costos altos, es el caso de las tecnologías de información aplicadas al modelado y planeamiento de procesos constructivos en “n” dimensiones (BIM y VDC)
- ✓ Fase de Madurez: Es cuando la tecnología ha llegado a su máximo nivel de aplicación, en esta etapa se ha popularizado tanto la tecnología por lo que se desarrollan muchos mejoramientos continuos, a tal punto que las mejoras en el rendimiento adquieren comportamientos asintóticos, es aquí que la tecnología se agota y comienza a ser reemplazada por nuevas tecnologías radicales (rupturistas) generando así una nuevo ciclo de vida
- ✓ Fase de Obsolescencia: En esta etapa la tecnología ya no puede generar mayores beneficios y puede ser fácilmente reemplazada por otras más eficientes y a menores costos

La innovación tecnológica, entonces será el fenómeno dinámico que se da cuando una tecnología (por lo general madura) ya ha sufrido gran cantidad de mejoramientos continuos y para generar beneficios se tendrían que incurrir en costos mayores, por lo que es mucho más eficiente reemplazarla por otras tecnologías (en crecimiento o emergentes) con mayores posibilidades de mejora y beneficios económicos. Este podría ser el caso de lo que viene ocurriendo en la construcción de estructuras de concreto, donde muchas compañías han optado por utilizar elementos pre-fabricados -a pesar de que aún tiene problemas por superar- en lugar del tradicional método de encofrado y vaciado in-situ que probablemente ya ha alcanzado su madurez. La figura 2.15 describe lo narrado gráficamente.

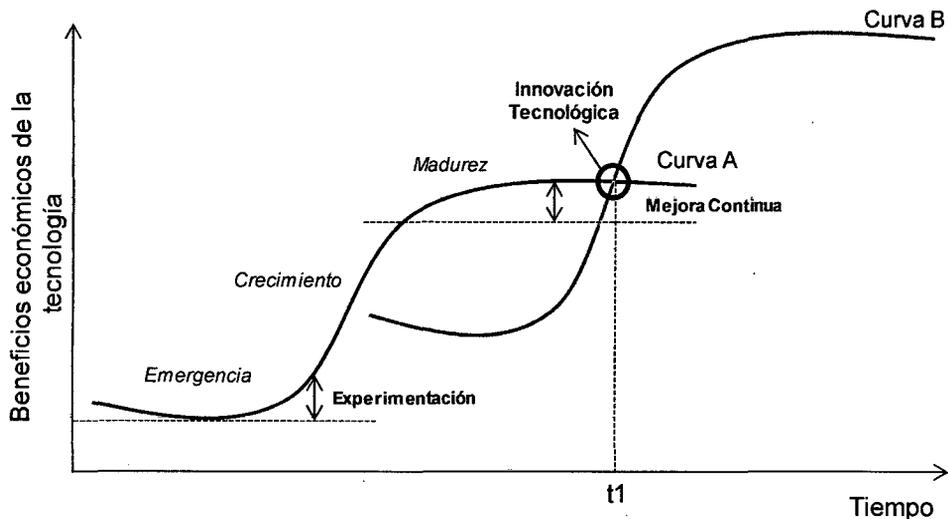


Figura 2.15 Dinámica de la Innovación Tecnológica (tomado de "Pasión por Innovar, Monti y Ferrás, España, 2013)

La figura 2.18 puede interpretarse de la siguiente manera, una organización en un tiempo "t1" posee una tecnología en estado de madurez (representado por la curva A) que tiene capacidad de generar réditos económicos y a la cual se le han proporcionado mejoramientos continuos que incrementaron las ganancias.

En ese momento, se puede optar por seguir incluyendo mejoramientos continuos para optimizar aún más a la tecnología -lo cual ya no generará beneficios sustanciales- o se puede optar por innovar con una tecnología nueva, ya sea en emergencia o en crecimiento (curva B), que posee cierto grado de incertidumbre sobre su funcionamiento pero con mayor potencial de mejora. Entonces, el éxito dependerá de la estrategia tecnológica a seguir, si se identifica la tecnología más adecuada y se gestiona eficientemente el conocimiento necesario para su implementación se podrán generar grandes beneficios. De ahí que el verdadero reto de las organizaciones será compatibilizar la mejora continua de la tecnología actual con una vigilancia tecnológica (prospectiva de tecnologías emergentes y en crecimiento) y una inteligencia competitiva que no permita conformarse con los logros hallados (Ponti y Ferrás, 2012).

2.5.3 Mecanismos para incorporar innovación tecnológica en la construcción

Conocidos los potenciales beneficios de la innovación tecnológica en la construcción, es necesario seguir una metodología que permita incorporarla dentro

de los proyectos. Una de los problemas que impiden la aplicación de nuevas tecnologías es precisamente el desconocimiento del personal directivo en métodos que permitan identificar donde son necesarias, captarlas e implementarlas.

Al respecto, existen metodologías que permiten gestionar los mejoramientos a través de la innovación a nivel de proyecto (general). A continuación se presenta 1 propuesta metodológica halladas durante la revisión bibliográfica (ver figura 2.16).

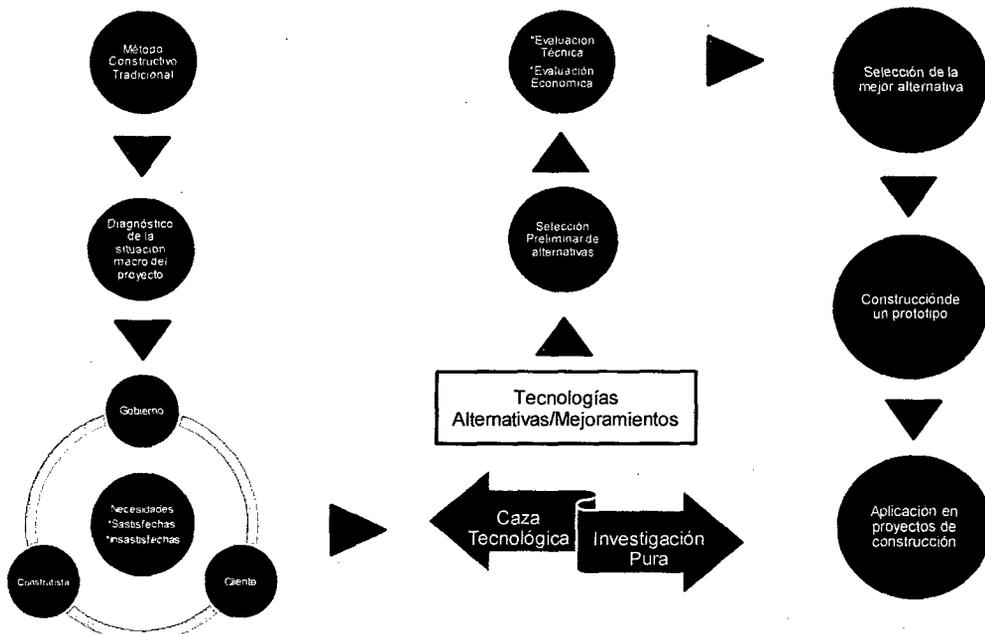


Figura 2.16 Metodología para incorporación de innovación tecnológica en la construcción (“Guía para la innovación tecnológica en la construcción”, Ghio et al, 1997)

La metodología presentada enfatiza la necesidad de identificar oportunidades basándose en un diagnóstico tecnológico⁷, para luego incorporar la innovación mediante la caza tecnológica, es decir, la adquisición y adecuación a los procesos productivos de tecnologías desarrolladas fuera de la organización. O también se puede desarrollar tecnología propia mediante la investigación pura. Luego se realizará una evaluación de factibilidad de las alternativas halladas. En la presente tesis sólo se tratará aspectos relacionados a la caza tecnológica.

⁷ Refiere al análisis crítico del estado actual de la tecnología de construcción de un proyecto determinado, es factible hallarlo mediante el benchmarking con los últimos avances tecnológicos existentes y con prácticas de las empresas más desarrolladas del sector

2.5.3.1 Caza Tecnológica

La apertura de los mercados y el gran desarrollo científico permiten tener acceso a tecnologías desarrolladas en otras latitudes con mayores beneficios. Por ello, una fuente importante de innovación tecnológica en la construcción es buscar, reconocer e implementar tecnología foránea a los proyectos, la mayoría de empresas constructoras no toman en cuenta nuevos avances debido a que han trabajado mucho tiempo con métodos que ya les han dado resultados y porque además no existe reglamentación que lo exija. Actualmente la mayor parte de las tecnologías están al alcance de los usuarios, estas pueden transferirse de 2 maneras dentro del sector:

- ✓ Horizontal: Entre empresas del mismo sector lo que estimula la competencia
- ✓ Vertical: Adquisición de tecnología de proveedores, congresos especializados, ferias tecnológicas y revisión de investigación de las universidades

La participación de los proveedores es fundamental a la hora de cazar tecnología, son ellos los responsables de buscar constantemente soluciones constructivas que sean funcionales y puedan ser aplicadas a los proyectos. Un estudio realizado en el sector inmobiliario de Holanda demostró que la mayoría de innovaciones fueron realizadas por proveedores (ver tabla 2.8), entonces el pilar de la caza tecnológica es la búsqueda efectiva de soluciones ya existentes en el mercado.

Tabla 2. 8 Porcentaje de innovaciones en el sector inmobiliario holandés (Adaptado de Marco Fabián, "Importancia de los proveedores en la construcción", Tesis PUCP, 2006)

Agente	% de todas las innovaciones	% de innovación en el proceso	% de innovación en el producto
Constructor	7.5	14.6	2.9
Proveedor	72.5	56.2	82.7
Arquitecto	0.9	2.2	0
Consultor	11.4	16.9	7.9
Otros	7.9	10.1	6.5
Tamaño de la muestra	228	89	139

2.5.3.2 Investigación, Desarrollo Tecnológico e innovación (I+D+i)

Si bien existe una gran oferta de tecnologías innovadoras desarrolladas en universidades e institutos de países más avanzados -Finlandia, Israel, Estados Unidos y Singapur-, las propias características geográficas y los problemas particulares de nuestro medio generan ciertas limitaciones a su posible aplicación. Por ejemplo, las condiciones naturales de los territorios amazónicos como la presencia de arcillas de alta plasticidad y las lluvias incesantes pueden limitar el uso de nuevas tecnologías desarrolladas en países con distinta geografía. Además nuestro país, en aras de incrementar su competitividad, no debería siempre ser dependiente tecnológico. Por lo tanto, es muy importante generar proyectos de investigación y desarrollo tecnológico que permitan obtener nuevas tecnologías más eficientes y/o adecuar las existentes a nuestra realidad con el fin de incrementar los índices de productividad.

Para lograr innovación, se deben de seguir una serie de etapas que inician con la generación de nuevas ideas. Dichas ideas son producto de la creatividad tanto individual como organizacional. La creatividad organizacional proviene principalmente de los esfuerzos de Investigación y Desarrollo (I+D). El concepto de investigación y desarrollo puede definirse como la gama de actividades que abarcan desde la obtención del conocimiento hasta la generación de implementaciones comerciales (Barrio et al, 2011). La investigación y el desarrollo de nuevas tecnologías también deben ser un proceso estructurado que parte de las necesidades de una empresa pero es un trabajo en conjunto, pues involucra el desarrollo de conocimientos -que por lo general se da en las universidades- y la creación de prototipos y/o elaboración de proyectos piloto.

El desarrollo de nuevas tecnologías, a diferencia de las mejoras puntuales que se pueden dar en los proyectos, parte de una idea creativa. Pero, la obtención de estas ideas no sólo está a merced de los momentos de gran creatividad de personas talentosas, sino que también pueden ser alimentadas con diversas técnicas. La tabla 2.9 resume diversas técnicas que sirven como punto de partida para la innovación.

Tabla 2. 9 Técnicas para innovar (Tomado de Daniel Barrio y Salvador García, "Modelo para la gestión de la innovación tecnológica en el sector inmobiliario", Tecnológico de Monterrey, 2011)

Técnica	Descripción
Tormenta de ideas	Se basa en la generación de gran cantidad de ideas sin importar cuan descabelladas son y juzgarlas hasta llegar a la más conveniente
Pensamiento Multidireccional	Direcciona el pensamiento de modos no convencionales con el fin de obtener resultados más importantes que los que se obtiene con el pensamiento habitual
Pensamiento de los 6 sombreros	Fomenta el pensamiento lateral, cada sombrero representa un estilo diferente de pensamiento y se representa gráficamente con un color
Despliegue de función de calidad	Proceso sistemático que ayuda a planear, comprender y especificar las necesidades del cliente y a integrar dichas necesidades en los productos
TRIZ	Metodología altamente estructurada para resolver problemas de ciencia y tecnología que requiere de un alto grado de creatividad e inventiva.

De las 5 técnicas descritas, la tormenta de ideas no ha dado buenos resultados en cuanto a la obtención de ideas innovadoras, y las 3 restantes han sido mayormente usadas en otros campos como la producción de dispositivos electrónicos y manufactura. Sólo la técnica TRIZ⁸ viene siendo utilizada con éxito en la ingeniería civil, en los anexos se adjunta los formatos para la resolución de problemas de invención con la técnica TRIZ.

2.6 EVALUACION DE PROYECTOS DE MEJORA

2.6.1 Análisis de Viabilidad

La naturaleza perfectible de los procesos y la asignación de metas como la disminución de los plazos de entrega, expandir mercados, incrementar utilidades, etc., genera la necesidad de implementar planes de mejora, para ello es necesario incorporar nuevos elementos (nuevos equipos, cambio de los procedimientos, etc.) que generarán beneficios pero que a su vez también poseen costos y riesgos. Ambos, los beneficios y los costos deben evaluarse comparando la situación original frente a la situación con la alternativa implementada, lo que en otras palabras significa evaluar los efectos financieros de la situación actual, frente a los efectos financieros de la alternativa a utilizar. Esta idea es la piedra angular de la

⁸ TRIZ: Acrónimo ruso para "Teoría para solución de problemas de investigación", desarrollada por Genrich Ashtuller

evaluación de factibilidad⁹ de proyectos de inversión cuyo espectro es mayor que evaluación económica, pues existen otros aspectos que pueden descartar una alternativa aun si esta es muy lucrativa económicamente (un impedimento legal por ejemplo).

En la construcción, los análisis de factibilidad se realizan para adquirir activos ya que estas inversiones traen consigo altos costos de inversión, pero bajos costos de operación. La evaluación económica considerará aspectos como los costos de inversión y operación y ciertos cualitativos, como la disponibilidad del servicio técnico, garantías, disponibilidad de materias primas, entre otras (Chain, 2001).

La evaluación de la factibilidad de proyectos de inversión contempla 4 tipos de viabilidad adicionales aparte de la económica.

- ✓ **Económica:** Conocido también como el análisis de Costo y Beneficio (Weighing-Scale), se utiliza con el objetivo de analizar todas las ventajas (beneficios) y las desventajas (costos adicionales) asociados con las alternativas. Es requerido cuantificar en términos monetarios las potenciales ganancias del proyecto de inversión y los costos que deben incurrirse para el mismo. El valor del costo de oportunidad (Cok) debe definirse con mucho cuidado previamente considerando el sector en que se encuentra una empresa (los indicadores varían por sector de acuerdo a sus riesgos). La viabilidad económica se determinará mediante la interpretación de 2 indicadores, el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa de Retorno de Interés (TIR) principalmente. A continuación se describen ambos indicadores:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{Ft}{(1 + Cok)^t} - I_0$$

Dónde:

N= Horizonte de evaluación (años)

Ft= Flujo de fondos del periodo de evaluación (beneficios - costos)

Cok= Costo de oportunidad de capital

I₀= Inversión inicial

⁹ Según la RAE, **factibilidad** se define como: "aquello que por sus circunstancias, tiene probabilidades de poderse llevar a cabo".

T= periodos individuales

Si el **VAN > 0** el proyecto será rentable, de otra manera debe ser rechazado.

El valor del TIR se obtendrá con los mismos valores del VAN al igualar su expresión a cero:

$$0 = \sum_{t=1}^n \frac{Ft}{(1 + TIR)^t} - I_0$$

El criterio de decisión se basa en que el $TIR > Cok$ y que sea lo mayor posible, así se asegura que la rentabilidad de la inversión es mayor que los costos de no invertir en la mejor oportunidad.

- ✓ **Técnica:** Se define como la disponibilidad tecnológica de la alternativa planteada y si se cuenta con las capacidades mínimas requeridas para poder aplicarla con éxito, por ejemplo: personal entrenado, sistemas de gestión que permitan administrarlo, etc.
- ✓ **Operativa:** Hace referencia a la facilidad de que el proyecto funcione tal como se planteó en etapas más tempranas, es decir, que los usuarios no lo dejen de lado ni que lo utilicen con fallas de cualquier índole.
- ✓ **Legal:** Se evalúa las posibles interacciones negativas entre el sistema planteado y la normatividad vigente.
- ✓ **Política:** En esta parte se toma en consideración si existe la voluntad de quien o quienes deben decidir el inicio del proyecto. Es más importante en los proyectos sociales donde las autoridades tienen el poder de decisión.

2.6.2 Riesgos de la innovación tecnológica

La innovación trae consigo riesgos, en la construcción por ejemplo, adquirir equipos con innovación tecnológica conlleva un mayor grado de incertidumbre que otros tipos de proyectos de inversión debido a la falta de experiencia, datos confiables sobre su desempeño y la propia complejidad de las nuevas tecnologías. Siendo entonces muy importante la identificación de los potenciales riesgos y su adecuada

gestión. Para este propósito, el PMI (Project Management Institute) contiene un capítulo entero dedicado al análisis de los riesgos y además provee de una metodología aplicable en proyectos con “actualización tecnológica” durante su ejecución. En la tabla 2.10 se observan las áreas donde se pueden encontrar los mayores riesgos asociados a la innovación tecnológica:

Tabla 2. 10 Categorización de riesgos de innovación (Tomado de “Gestión de riesgo de innovaciones tecnológicas en los proyectos”, Benítez, 2013)

Técnico	De la organización	Externo	Dirección de Proyectos
Requisitos	Dependencias del proyecto	Subcontratistas y Proveedores	Estimación
Tecnología	Recursos	Regulatorio	Planificación
Complejidad e interfases	Financiación	Mercado	Control Tabla 2.11
Rendimiento y Fiabilidad	Priorización	Cliente	Comunicación
Calidad		Condiciones Climáticas	

Riesgos muy altos pueden afectar el los beneficios de la innovación e inclusive si estos son muy grandes pueden dejar de lado los resultados de la evaluación económica ya que el costo a incurrir para mitigarlo elimina las potenciales utilidades a obtener.

CAPITULO III: MEJORA DE LA PRODUCTIVIDAD EN LA CONSTRUCCIÓN

3.1 MEJORA CONTINUA E INNOVACIÓN

A lo largo de la historia, la industria manufacturera posterior a la revolución industrial realizó muchos avances en la mejora productividad mediante la incorporación de elementos de gestión como la administración científica del trabajo, control estadístico de la calidad, etc. De todos estos esfuerzos los conceptos de la línea de producción de Ford y el sistema Just-In-Time (las bases de la mejora continua), este último generó una revolución en la industria debido a que siguiendo sus principios de gestión fue posible entregar los productos en menor tiempo, con menores costos y con altos estándares de calidad. Esta filosofía fue posteriormente implementada al sector construcción (Lean Construction), muchos proyectos verticales han demostrado los beneficios de su aplicación, pero en proyectos de infraestructura aún no está muy difundida y son pocos los esfuerzos por implementarla. La filosofía Lean Construction, entendida y adecuada, será de mucha utilidad para optimizar los procesos constructivos ya que no sólo permitirá eliminar pérdidas operativas en el campo al identificar tiempo muertos y trabajo infectivo sino que también mejorará aspectos como el planeamiento y la calidad al concentrarse en la generación del valor dentro del flujo.

La innovación, por otro lado, también ha generado notables incrementos en la productividad en muchos sectores, es más, en la construcción ha sido la principal fuente de mejoras hasta el momento y además posee mayor potencial de mejora que en otros sectores, en manufactura por ejemplo gran cantidad de procesos ya están automatizados mientras que en la construcción muchas tecnologías siguen siendo las mismas desde hace muchos años. Sin embargo, los 2 enfoques (mejoramiento continuo e innovación) han sido objeto de mucha discusión entre investigadores sobre la conveniencia de uno u otro y además las compañías han tenido dificultad en tratar de incorporar ambos. En los años 80, se creía que el enfoque de mejoramiento continuo era superior y otorgaba mayores ventajas (la supremacía de las industrias japonesas lo hacía parecer), pero con la resurgencia de la industria americana a inicios de los 2000, la innovación volvió al primer plano, muchas compañías americanas que habían adoptado fuertes programas de mejora de la calidad reclamaron que estos ambientes generaban burocracia, desalentaban

la creatividad y sus principios no eran compatibles con la cultura occidental (caso de Motorola y 3M). Una de las razones de la controversia era la falta de claridad en los términos, la mejora continua hace referencia a **mejoras pequeñas pero constantes** en escala que al acumularse en el tiempo generarán beneficios, mientras que la innovación está más relacionada a **grandes mejoras puntuales** (innovación radical), sin embargo, durante la mejora continua se realizan muchos cambios para solucionar problemas y muchos de ellos traen consigo innovación cuyos resultados no serán disruptivos pero han contribuido a mejorar. Este último concepto es el de innovación incremental, por lo que la mejora continua está relacionada con la innovación a ese nivel y además la hace sustentable pues el ambiente de mejora constante motivará a buscar soluciones innovadoras. Otra razón de la controversia era el fanatismo a la hora de aplicar los principios de cada uno, muchas empresas implementaron la mejora continua a todos los niveles y áreas sin tomar en cuenta la diferencia cultural y sin considerar que hay algunas etapas del proyecto donde la mejora continua aún no se ha profundizado y es posible que no genere ventajas, en el diseño por ejemplo esta desalentaba la innovación radical (mayormente en sectores donde se requieren cambios muy rápidos en los productos).

Entonces, la discusión no debe centrarse en si una metodología era mejor que la otra, sino en buscar maneras de complementarlas. En el sector construcción, es posible realizar esto. Lauri Koskela (1992), sugiere que la introducción de la filosofía de mejoramiento continuo debe ser complementada con periódicas adquisiciones de nueva tecnología. Virgilio Ghio (1997), comparte la opinión, según él la mejora de la productividad es el resultado de optimizar los procesos y de incorporar nuevas tecnologías de construcción. Entonces, en ambos enfoques **son complementarios** en la construcción, prueba de ello es que si una compañía no inyecta periódicamente innovación (a través de adquisición de equipos innovadores, aplicación de nuevos materiales, etc.), la tecnología que posee terminará quedando obsoleta y la empresa será rezagada por la competencia pues sus costos serán mayores. Pero si la innovación es implementada sin antes haber eliminado diversas pérdidas de flujo, no se podrán obtener todos sus beneficios (Koskela, 1992), en adición si durante la implementación, la organización no posee un ambiente de aprendizaje continuo (que la cultura Lean otorga) será muy difícil vencer las resistencias a trabajar con un nuevo método. Además las pérdidas y dificultades

que la propia innovación traerá consigo (por su naturaleza desconocida) requerirán que se optimice otra vez el flujo de producción (Imai, 1986). Por lo tanto, al complementar ambos enfoques, se puede incrementar mucho más la productividad que utilizando de manera individual cualquiera de los dos (ver figura 3.1).

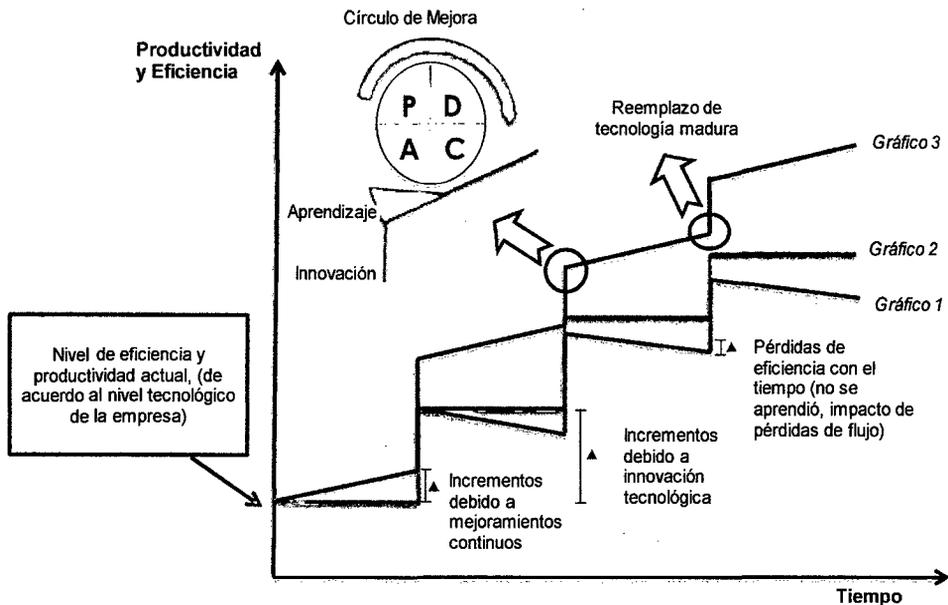


Gráfico 1	Incrementos puntuales y dramáticos de eficiencia y productividad, relacionados a reemplazo de tecnologías maduras por otras emergentes y/o en crecimiento (reingeniería de procesos)
Gráfico 2	Investigaciones sobre la innovación, definen que el comportamiento real de la innovación tecnológica incluye reducciones en el tiempo producto de la falta de aprendizaje y por el efecto de pérdidas de flujo
Gráfico 3	El mejoramiento continuo implica, además de los saltos cuantitativos puntuales en eficiencia y productividad luego de las innovaciones tecnológicas, mejoramientos pequeños y graduales en el tiempo. La suma de estos implica un mejoramiento total significativamente mayor que en los otros 2 casos

Figura 3.1 Impactos de la Innovación y la Mejora Continua en el tiempo (adaptado de Virgilio Ghio, "Guía para la innovación tecnológica", Chile, 1997)

3.2 GUÍA PARA APLICACIÓN DE LAS METODOLOGÍAS

3.2.1 Definición de términos a usar

El objetivo principal de la tesis es proponer una metodología de mejora de la productividad en la construcción a nivel de tarea o proceso esto debido a que las posibles mejoras en productividad en las tareas se manifestarán en los niveles

mayores que Huang clasifica: industria y proyecto (ver capítulo 2). Esta metodología debe integrar tanto los enfoques de la mejora continua como de la innovación, sin embargo puede generarse confusión en ciertos términos del marco teórico como innovación incremental con mejora continua, innovación organizacional como la implementación del Lean Construction, por ello primero se debe aclarar los conceptos que serán utilizados en la presente tesis:

La metodología será aplicable para proyectos en la etapa de ejecución a nivel de tarea debido a las características contractuales de proyectos de carreteras (obras públicas), por ello será más conveniente utilizar la innovación tecnológica del proceso ya que está enfocada en su producción, no se toma en cuenta la innovación del producto pues esta, en opinión del autor, debe tratarse en etapas más tempranas del proyecto integrándose con la constructabilidad y las restantes (innovación mercado y organizacional) son aplicables a un nivel mayor como las ventas y el desarrollo corporativo. La innovación tecnológica será considerada como la búsqueda, reconocimiento, evaluación y adquisición de tecnologías de construcción para realizar una tarea determinada (por lo general activos), que no han sido utilizadas anteriormente en la organización, que posea riesgos de implementación (que puedan alterar su impacto estimado en la productividad) y por lo tanto la decisión final de su utilización será realizada por la dirección de la empresa en la sede central y será necesario ayuda externa para su adecuado uso (consultor externo o proveedores). Esto además incluye casos de adecuación de tecnología existente a otras funciones (innovación ortogonal).

Por otro lado, **la mejora continua**, será entendida como todas las acciones cuya decisión final de implementación se dará dentro del proyecto (algunas veces pueden ser soportadas por la oficina principal), estas se enfocan en optimizar el uso de los recursos y métodos constructivos existentes a través de la identificación y eliminación de pérdidas, además de esfuerzos a nivel del planeamiento y gestión de la calidad. Los planes de optimización serán esfuerzos operacionales cuya fuente principal son el Know-How interno del proyecto y las buenas prácticas, eventualmente pueden darse soluciones creativas (innovación incremental) como la modificación de herramientas y optimización de los diseños de mezcla pero los riesgos involucrados serán mínimos, no siendo necesario la capacitación externa de proveedores o consultores.

Es importante mencionar que la empresa COSAPI actualmente dispone de un manual de gestión de proyectos donde la mejora continua de los procesos se realiza a través de la optimización de las pérdidas debido a tiempos improductivos como la reducción de esperas y trabajo inefectivo a través de herramientas de la OIT para el estudio del trabajo, este método de mejora de la productividad es válido y también será utilizado dentro del estudio. La presente propuesta, por otro lado, busca brindar una estrategia que sirva para la reingeniería de procesos¹⁰ con el objetivo de obtener cambios sustanciales que involucre implementación de los principios de la construcción sin pérdidas (Lean Construction) y nuevas tecnologías.

3.2.2 Consideraciones y limitaciones

El enfoque de la mejora continua, como se mencionó en el marco teórico, requiere que el equipo conozca la filosofía y cultura para luego implementarlas a través del adecuado uso de sus herramientas. COSAPI ha brindado capacitación sobre estos temas a la mayoría de sus ingenieros, inclusive el manual de gestión de proyectos recomienda utilizar ciclos de optimización de procesos constructivos, el Last Planner™ como estándar de planificación y además cuenta con certificación ISO para gestionar la calidad, el cual incluye un componente de mejora continua (a través del seguimiento de no conformidades) y se preocupa por la satisfacción del cliente a través de encuestas periódicas. Sin embargo, las herramientas se utilizan someramente o de manera incorrecta (en el siguiente capítulo se tratará esto con mayor detalle) sin tomar en cuenta los principios fundamentales: identificar y reducir constantemente las pérdidas y gestionar eficientemente el valor en términos del cliente interno y externo, esto pues aún se mantienen muchos paradigmas del modelo de gestión tradicional. El objetivo de esta tesis no es la implementación del modelo Lean a la organización ni pretende reemplazar las actuales prácticas que se llevan a cabo, sino es un **primer esfuerzo** por demostrar que es posible mejorar el desempeño de los proyectos mediante el cambio de la manera de pensar, así será posible discutir que principios son acordes con los objetivos de la compañía e iniciar el cambio cultural donde sea más conveniente. Además, la presente metodología se limita a innovaciones del proceso dejando de lado los mayores beneficios de

¹⁰ Reformulación de los procesos que permitirán cambios sustanciales en los niveles de productividad, costos y calidad mediante la aplicación del conocimiento y tecnología actuales.

generación de valor mediante la innovación del producto, esto debido a restricciones contractuales (el tipo de contrato sólo abarca ejecución).

3.2.3 Estrategia General Propuesta

Con base en la información relatada en el marco teórico se propone la siguiente estrategia general de mejoramiento de la productividad (ver figura 3.2) que involucrará los enfoques de mejora continua e innovación tecnológica.

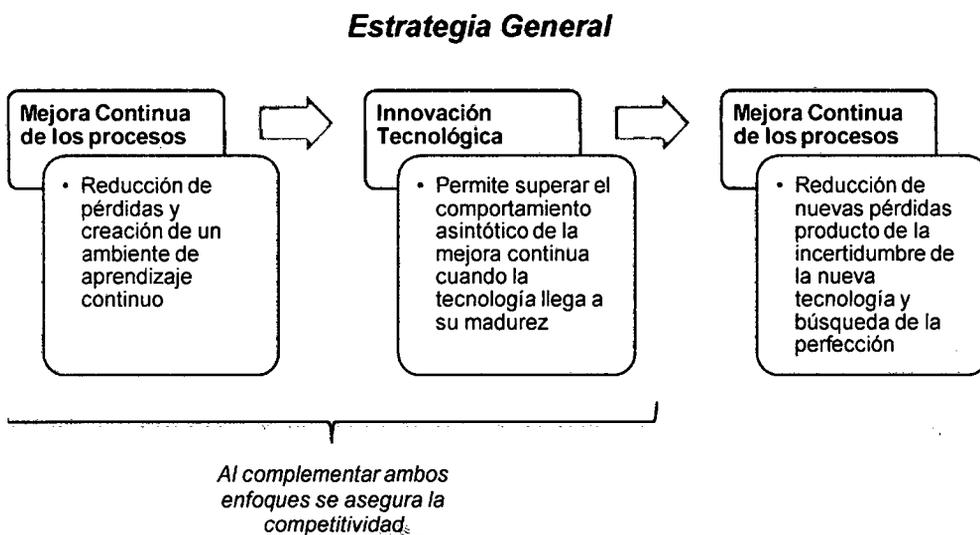


Figura 3.2 Estrategia general para la mejora de la productividad (elaboración propia)

Tanto la mejora continua de los procesos como la innovación tecnológica poseen sus propias etapas, pasos específicos y técnicas para obtener resultados, los cuales se detallarán a continuación (ver figuras 3.3 y 3.4).

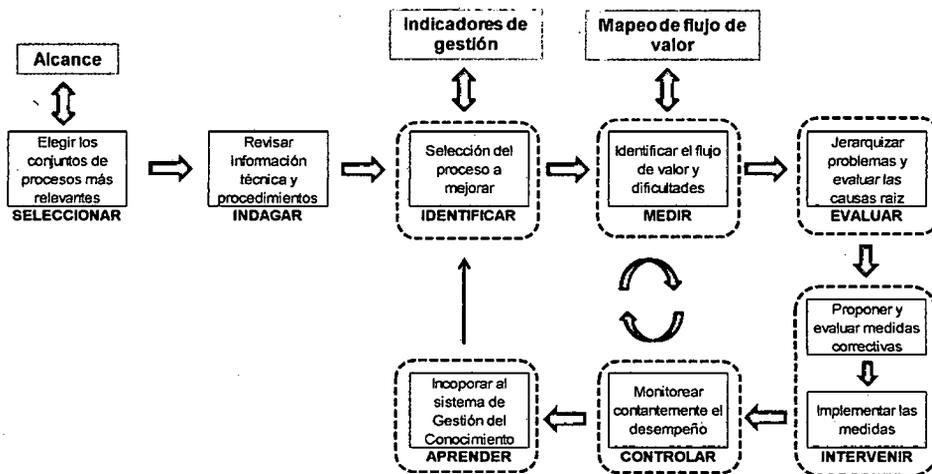


Figura 3.3 Etapas del Ciclo de mejora continua (elaboración propia)

Cabe indicar que el ciclo se basa principalmente en la remoción de pérdidas para la mejora de la productividad y en la mejora continua constante, según Akira Inokuma, para completar una correcta aplicación del Lean Construction se debe incluir un riguroso aseguramiento de la calidad, sobre esto los problemas de calidad que afectan a la productividad serán descubiertos mediante el diagnóstico (en la etapa de evaluación).

SECUENCIA PARA LA INNOVACIÓN TECNOLÓGICA

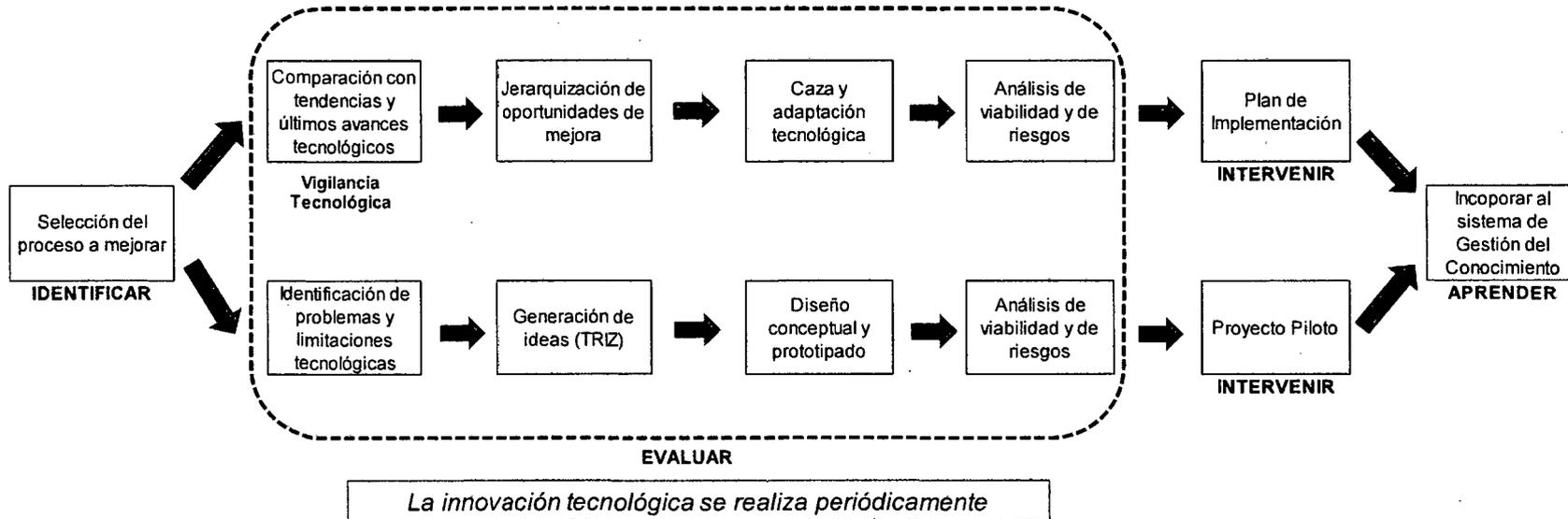


Figura 3.4 Etapas para la incorporación de tecnología innovadora (elaboración propia).

La mejora continua es, como su propio nombre lo indica, una actividad constante que permitirá obtener resultados de manera rápida; mientras que la innovación tecnológica, dado su mayor tiempo de evaluación y potencial de mejora, se llevará a cabo de manera periódica, al referenciar la tecnología propia con la que poseen los competidores (si es posible) y con los nuevos avances tecnológicos, lo cual es conocido como el proceso de vigilancia tecnológica.

3.2.3.1 Elección de Conjunto de Procesos y Revisión de información

El WBS y el plan de fases elaborado al inicio del proyecto dividen el alcance del proyecto en una serie de paquetes de trabajo que darán lugar a los entregables. Esta información servirá para determinar los conjuntos de procesos que por su criticidad, incidencia en el presupuesto y/o requisitos de calidad tendrán mayor impacto en el proyecto. Aunque, también existirán procesos que se señalan como elementos de control pues su magnitud es elevada pero que no son físicamente palpables: por ejemplo el transporte de material en carreteras o limpieza de escombros en un túnel, etc. Se sugiere estudiar estos casos incluyéndolos con las partidas a las que alimentan pues si estos son ineficientes comprometerán el desarrollo de los siguientes.

3.2.3.2 Identificación del proceso crítico o rector

Las actividades de seguimiento y control se realizan a una fecha de corte determinada según el criterio del departamento de control de los proyectos. Este es un estudio global y dado la gran cantidad de información, serán los indicadores de los procesos que posean menor valía los que acaparen la atención y hacia donde se dirigirán los esfuerzos de mejora. En contraste, la filosofía Lean sugiere que la producción es un flujo por lo que ningún proceso –y su indicador respectivo– puede analizarse aisladamente. Además, siguiendo el modelo de la cadena crítica de Goldratt, el responsable de pobres desempeños es el proceso cuello de botella que somete a todo el flujo a su ritmo.

La idea principal en esta etapa es detectar el proceso cuello de botella en términos de costo, plazo y calidad mediante los indicadores de seguimiento ilustrados en el capítulo 2. Para ello se debe agrupar convenientemente los paquetes de trabajo de cada fase de control, en otras palabras, se agrupan los procesos que poseen

holgura mínima entre ellos y dan origen a un entregable, esto siempre y cuando los trabajos tengan margen de mejora en el proyecto (metrados del saldo considerables). Puede mostrarse el siguiente caso como ejemplo (ver tabla 3.1):

Tabla 3.1 Cuadro de control de Procesos (elaboración propia)

	Proceso	Responsable	Metrado Acumulado	CPI	SPI	NC
Proceso Crítico	Acero	WAM	56%	0.99	1.02	1
	Encofrado	JCC	45%	0.84	0.92	3
	Colocación de Concreto	ACL	40%	1.01	1.04	-

Donde:

CPI : Cost Performance Index

SPI : Schedule Performance Index

NC : Número de No Conformidades

Obs: Todos los valores son a una fecha de corte mensual

De acuerdo a la tabla 3.1 se puede inferir la alta probabilidad de que existan problemas en el proceso encofrado que están generando sobrecostos (CPI<1), atraso en el cronograma (SPI<1) y mayor número de no conformidades. Además, el rendimiento de avance del proceso está por debajo del promedio y del planificado, este desbalance causará a la larga problemas en los procesos restantes ya sea por falta de frente e inventarios. De aquí que es posible utilizar un parámetro que permita determinar cualitativamente el proceso rector, Barboza (2013) propone el factor oportunidad de mejora de cada proceso:

$$FOM = \frac{INCIDENCIA (\%) * M. SALDO (\%)}{CPI * SPI}$$

Al agrupar los procesos convenientemente y aplicando la expresión mencionada se puede identificar el procesos que retrasa toda la cadena productiva.

Definido el proceso crítico o rector dentro del grupo, se debe estudiar específicamente los recursos que componen el costo total a fin de conocer cuáles poseen mayor relevancia, esto es sencillo de representar mediante diagramas de distribución de incidencia, los diagramas de Pareto serán muy útiles en este caso.

3.2.3.3 Medición

Esta etapa consiste en estudiar la cadena de producción que conforma el proceso determinado como crítico, con el fin de detectar los orígenes de los malos resultados en los controles. Por lo general para optimizar la productividad a nivel de tarea se utilizan estudios de trabajo en cada operación de manera individual, esto es recomendable pero debe ser complementado con información sobre el flujo de materiales e información y además todas las operaciones deben integrarse para visualizar fuentes de pérdidas de flujo como inventarios cuellos de botella, las cuales suelen dejarse de lado. La herramienta Mapa de Flujo de Valor (MFV) es muy útil para el diagnóstico integral de procesos pues considera no sólo las operaciones sino también los flujos, lo que permite modelar toda la cadena de valor que se le añade al entregable evitando reducir sólo pérdidas aisladas. Más aun, el MFV permitirá que el equipo del proyecto se integre al hablar un lenguaje común y pueda visualizar la producción como flujo lo cual contribuirá al cambio de los paradigmas tradicionales. Los pasos a seguir en esta etapa y la metodología se presenta en la figura 3.5.

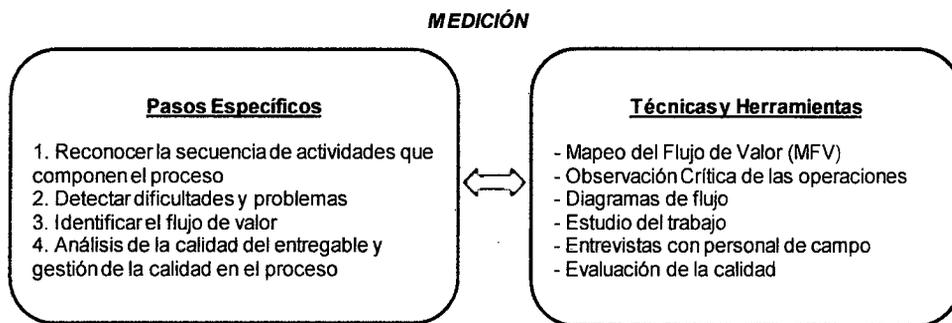


Figura 3.5 Pasos Específicos y Metodología para la medición del estado actual de los procesos- Mejora Continua (elaboración propia)

Cabe indicar que la principal técnica a usar será el Mapeo del Flujo de Valor (MFV), el resto de herramientas lo complementarán. Sin embargo, en el marco teórico se señaló 5 restricciones (pues nació en el ámbito manufacturero) para su correcta aplicación en la construcción (ver marco teórico 2.4.6.1), los cuales se superarán tomando las siguientes consideraciones respectivamente:

- ✓ Se definirá un entregable repetitivo (mediante una unidad común) que sea ejecutada en toda la duración del proyecto

- ✓ Se debe definir una unidad de tiempo con la que se medirán los procesos (días, semanas, meses), dependiendo de la magnitud del estudio pues se han desarrollado casos que estudiaron la duración total de los procesos en el proyecto
- ✓ Se debe tener desarrollado un sistema de seguimiento y control que permita recolectar datos importantes
- ✓ Para un mejor entendimiento de los procesos, estos se reconocerán en el campo y se mapearán todos sus pasos y responsables mediante diagramas de flujo
- ✓ **Se definirán adecuados parámetros y técnicas de medición para caracterizar problemas comunes en la construcción**

El último punto es el más importante, para entender por qué basta con recordar la teoría de la gestión mediante indicadores, la cual postula que números obtenidos en función de datos pueden ser utilizados para medir de manera localizada el efecto de las pérdidas que puedan existir en el sistema y ya no de manera global como cuando se realizó el análisis del valor ganado.

La clasificación general de indicadores comprende eficiencia, eficacia, calidad y economía. Algunos índices del MFV tradicional manufacturero son valiosos y toman en cuenta estos aspectos pero se deben diseñar índices especiales de acuerdo a los problemas del sector construcción y del concepto de valor del cliente.

- ✓ Índices de eficiencia:

Estos índices brindarán información sobre la eficiencia al usar los recursos, las técnicas del estudio de trabajo (ver 2.3.4.2) son adecuadas, las tasas de desperdicio de materiales deberían ser incluidas cuando posean alta incidencia dentro del costo. En los anexos se presentan los formatos que se utilizarán la recolección de datos de la presente tesis.

Los estudios mencionados por lo general hallan tiempos muertos debido a que el proceso anterior no fue capaz de producir lo suficiente para abastecer al siguiente (suele pasar en partidas de estructuras, la cuadrilla de habilitadores de acero no abastece totalmente a la de encofrado), pero el caso inverso también ocurre formado otro tipo de pérdida que no es identificable fácilmente: **el inventario de trabajo en progreso**, cuyos efectos son negativos ya que los lotes entregados

están propensos a deterioro y aún más en un proyecto de carreteras por los diversos factores ambientales (lluvias, heladas, tráfico, etc.) sin mencionar el hecho de que se genera mucha presión sobre el equipo que no se abastece para ese nivel de producción. Este tipo de pérdida es fácil de medir en manufactura pues sólo se debe contar cuantas piezas se encuentran sin acabar, en construcción, por otro lado, no es tan sencillo debido a que los entregables son más complejos y además la gran variabilidad de los procesos (lo que no permite fijar un tiempo de término del producto), en la presente tesis estos valores se medirán mediante líneas de balance.¹¹

✓ Índices de eficacia:

Estos índices señalaran el grado de cumplimiento de las metas programadas en un periodo de tiempo. El porcentaje de actividades completadas (PAC o PPC) - proveniente de la programación semanal y diaria puede utilizarse para obtener lo buscado. En esta parte también se sugiere controlar el grado de efectividad del sistema de abastecimiento de recursos del proceso, por ejemplo, se puede medir la cantidad de materiales que se entregaron a tiempo (just-in-time)

✓ Índices de calidad:

Los estudios de productividad en campo mediante herramientas del estudio del trabajo y de métodos son útiles para la determinación de pérdidas como esperas, demoras, transporte excesivo, entre otras, pero no brindan mayor detalle sobre otra clase de desperdicio que también influye negativamente en la productividad. Por ejemplo, se puede tener un ritmo de producción muy bueno y los valores de Trabajo Productivo (TP) ser elevados pero si el resultado es rechazado por incumplimiento de las EETT, todo el tiempo y dinero ganado se perderán en corrección de defectos. Por ello deberá evaluarse las no conformidades existentes en los procesos que se llevan a cabo. Los controles de calidad brindan la relación de no conformidades al entregable luego de finalizar la ejecución, sin embargo existe otra fuente de re-trabajo que no es comúnmente tomada en cuenta: los defectos de un proceso que deberán ser reparados por el proceso siguiente, esto suele darse en las obras aun cuando se considera que los principios del aseguramiento de la

¹¹ Línea de Balance: Se denomina a la línea resultante de graficar los avance de un procesos de conversión específico versus el tiempo

calidad (como puntos de inspección y protocolos) están involucrados en el campo y aseguran la ejecución sin desviaciones.

3.2.3.4 Evaluación

El mapeo de procesos en conjunto con las metodologías de la figura 3.4 se utilizarán para graficar el mapa de cadena de valor respectivo, donde se podrá visualizar todo el flujo y detectar donde se originan las pérdidas junto con las dificultades existentes. El objetivo de la evaluación es determinar la causa raíz de las dificultades y/o pérdidas para reducirlas o eliminarlas y no sólo mitigar los efectos negativos que pudieran aparecer producto de ellos. La figura siguiente muestra los pasos a seguir y las metodologías (ver 3.6).

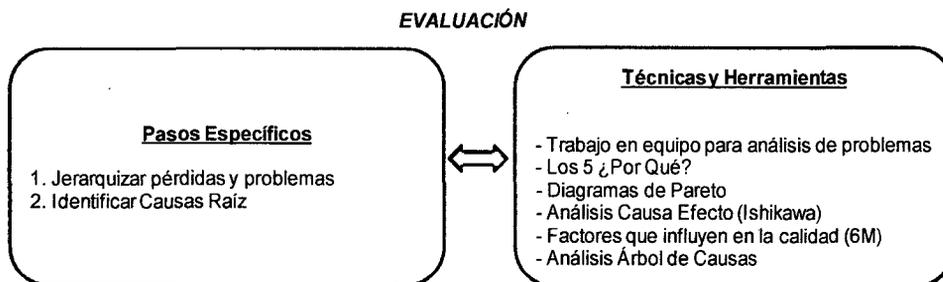


Figura 3.6 Pasos Específicos y Metodología para la evaluación de las causas raíz de los problemas - Mejora Continua (elaboración propia)

En este nivel del ciclo se recomienda reunir a los involucrados en los procesos junto con personal de planeamiento, control e ingeniería para comparar los diversos criterios que se tengan sobre un determinado problema y, mediante el análisis crítico de los datos, llegar a una conclusión. Las herramientas de gestión “diagrama de Ishikawa”, “árbol de causas” y los “5 ¿por qué?”, para problemas de calidad es común reunir las posibles causas de los productos defectuosos a 6 factores principales: Mano de Obra, Materiales, Maquinaria, Medición, Medio Ambiente, Método de Trabajo y Mediciones.

3.2.3.5 Intervención

Este es un punto crítico del modelo, ya que es donde se propondrán propuestas de mejora y sus respectivos planes de implementación. La etapa de intervención se realizará siempre y cuando se tenga el pleno convencimiento de que se conoce la

causa raíz de los problemas. Una vez llegado a un consenso sobre este punto, la estrategia de implementación de acciones correctivas se repartirá en 3 niveles para la gestión de la producción:

- ✓ **Aseguramiento el flujo:** Eliminar detenciones por falta de recursos y/o información y reducir la variabilidad en la producción
- ✓ **Obtener Flujos Eficientes:** Reducir y eliminar pérdidas asociadas a los flujos como los sistemas de producción basados en empujar (push) y cuellos de botella mediante la estandarización
- ✓ **Obtener Procesos Eficientes:** Reducir y/o eliminar actividades que no añaden valor de los procesos de conversión

La figura 3.7 señala los pasos y metodología a seguir en referencia a los 3 puntos mencionados:

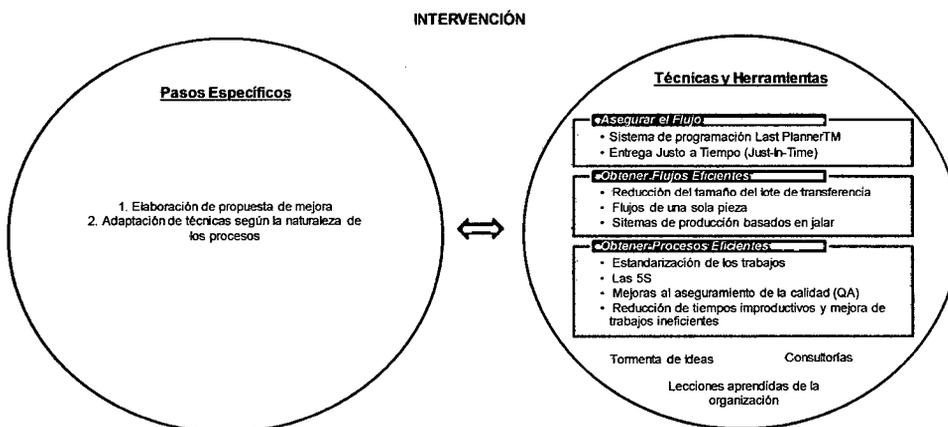


Figura 3.7 Pasos Específicos y Metodología para Intervención (elaboración propia)

3.2.3.6 Plan de Implementación

Luego de determinar las mejores alternativas de mejora, se debe delinear con mucho cuidado el plan de implementación respectivo (ver figura 3.8).

PLAN DE IMPLEMENTACIÓN

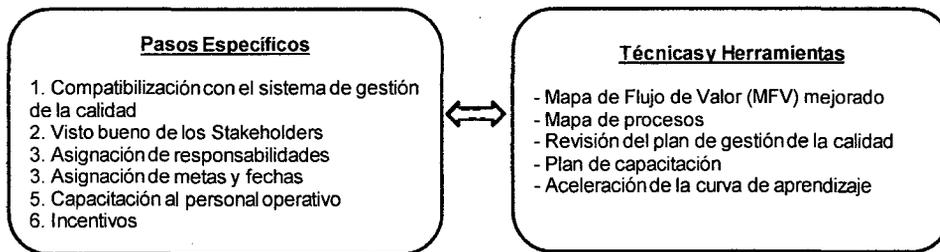


Figura 3.8 Pasos Específicos y Metodología para desarrollo del plan de implementación (elaboración propia)

Los puntos siguientes deben tratarse con especial cuidado:

- ✓ No afectar el sistema de Aseguramiento de la calidad del proyecto: debe actualizarse las variables, cláusulas o herramientas del sistema de aseguramiento de la calidad del proyecto tales como los procedimientos constructivos o puntos de inspección
- ✓ Capacitación al personal operativo: se debe desarrollar un plan de capacitación para los obreros acerca de los nuevos métodos de trabajo, el cual debe incluir incentivos para motivar al cambio y acelerar la curva de aprendizaje

3.2.3.7 Monitoreo

Luego de la implementación es necesario controlar minuciosamente el desarrollo de las actividades con el fin de determinar si se está llevando a cabo los cambios planteados o si se debe modificar los planes para adaptarlos a la realidad del proceso. Se recomienda realizar controles más frecuentes (diarios) con el fin de tomar acciones en tiempo real y corregir rápidamente potenciales desviaciones (ver figura 3.9).

MONITOREO

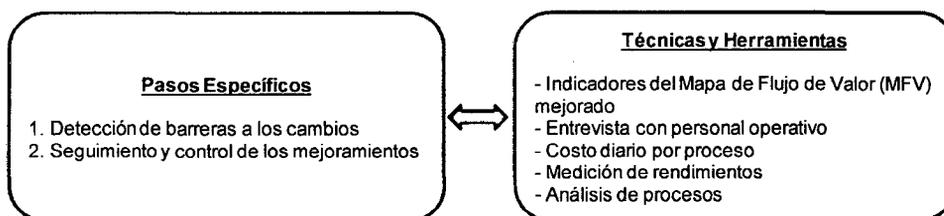


Figura 3.9 Pasos Específicos y Metodología para Monitoreo (elaboración propia)

3.2.4 Etapas para incorporar Innovación Tecnológica a los procesos

Al igual que el caso anterior, se proponen pasos específicos con sus respectivas técnicas, con la diferencia que las propuestas de mejora serán estudiadas considerando un horizonte de tiempo mayor (mediano plazo) y no serán implementadas inmediatamente.

3.2.4.1 Evaluación - Vigilancia Tecnológica

Esta etapa consiste en comparar el estado actual de la tecnología de construcción del proceso con las prácticas más recientes en el mundo, la técnica del Benchmarking permitirá identificar las mayores brechas tecnológicas y el posible impacto de tecnologías invasoras. Esta puede ser dentro de las tecnologías dentro de la cadena de valor como equipos o materiales nuevos o es posible que el método constructivo en su totalidad ya haya sido reemplazado. La figura 3.10 señala los pasos a seguir con sus respectivas metodologías:

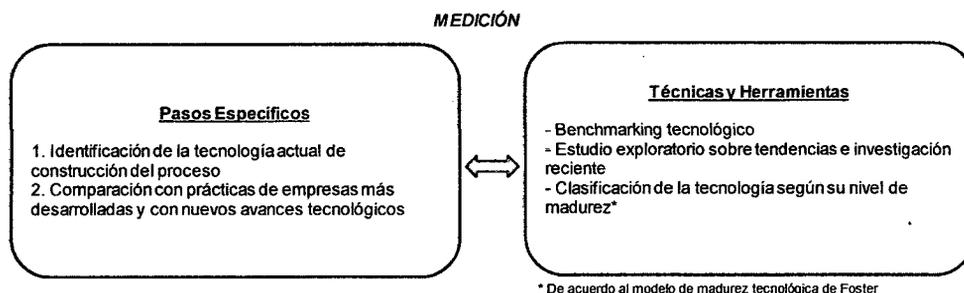


Figura 3.10 Pasos Específicos y Metodología para Medición - Innovación Tecnológica (elaboración propia)

La tecnología de construcción del proceso será representada por 5 categorías de acuerdo a la definición de tecnología de construcción, los cuales serán contrastados con tecnologías emergentes y en crecimiento que ofrecen mucho potencial de mejora. La figura 3.11 señala las categorías mencionadas y las fuentes de investigación.

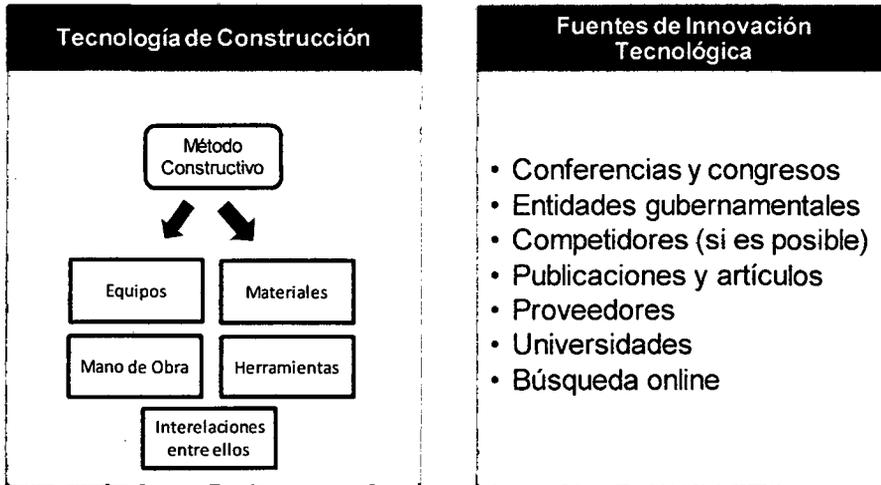


Figura 3.11 Categorías de tecnología de construcción y las fuentes de búsqueda de innovación tecnológica (elaboración propia)

3.2.4.2 Evaluación - Jerarquización de oportunidades y caza tecnológica

Una vez comparada la tecnología actual con las nuevas tendencias tecnológicas, se debe discernir las tecnologías más beneficiosas de reemplazar en función de los beneficios potenciales en productividad e impactos negativos en el flujo de producción, esto es necesario pues si se sigue el modelo tradicional y se introducen innovaciones tecnológicas sin considerar el flujo sólo se mejorará los procesos de conversión de manera aislada, siendo posible que se mejore un proceso que no es crítico generando mayores inventarios y problemas posteriores. En la figura 3.12 se muestra los pasos específicos y las técnicas correspondientes a esta parte.

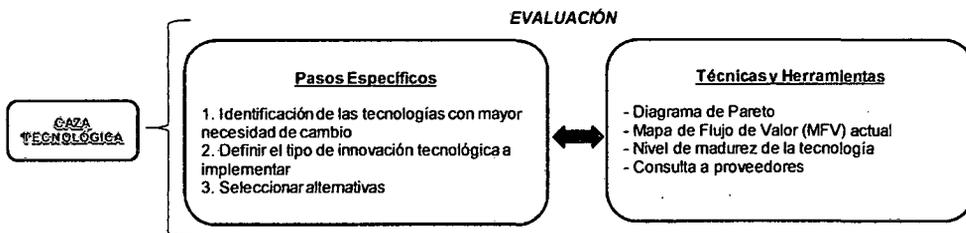


Figura 3.12 Pasos específicos y metodologías para la evaluación - Innovación Tecnológica (elaboración propia)

3.2.4.3 Evaluación técnica, económica y análisis de riesgos

Las propuestas de mejora basadas en tecnología ameritarán desembolsar sumas de dinero considerables que no se encuentran previstas en los presupuestos de los proyectos, cada una de las alternativas posibles poseerá sus propias características técnicas y económicas que definirán su viabilidad, estos aspectos deben evaluarse junto con los riesgos inherentes de cada alternativa para determinar que opción es la que generará mayores beneficios. La figura 3.13 señala los principales aspectos de esta etapa:

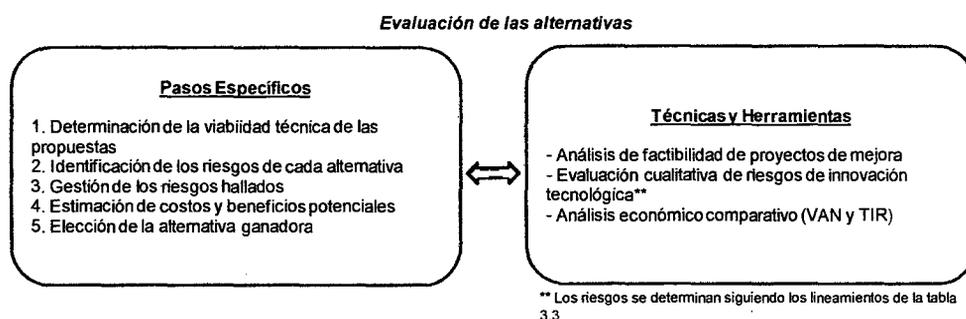


Figura 3.13 Evaluación de alternativas seleccionadas - Innovación Tecnológica (elaboración propia)

El análisis de riesgos es necesario en la innovación tecnológica por su propia complejidad, el riesgo inherente de trabajar con un nuevo método y por la gran cantidad de escenarios que se presentan debido a la propia variabilidad de la construcción (Ponti y Ferras, 2012). Entonces, se debe evaluar cualitativamente los mismos -dado que mediante el análisis conceptual de los riesgos es posible tomar medidas para gestionarlos- no es necesario cuantificar el impacto de los mismos. En el marco teórico se citó fuentes de riesgos en innovación tecnológica (ver 2.6.2) a los que se añadió los aspectos como experiencias pasadas en la implementación de nuevas tecnologías y el análisis del impacto de la nueva tecnologías mediante juicio de expertos, de esta manera se puede obtener para generar lineamientos más específicos.

En la tabla 3.2 se muestran las fuentes de riesgo potencial asociada con cada área de manera general. Luego, es factible la utilización de la tabla para estudiar cada proceso de manera particular. Cabe indicar que la viabilidad técnica y la determinación de riesgos son actividades que en este caso son muy parecidas e inclusive algunos aspectos se superpondrán.

Tabla 3.2 Fuentes de riesgo en la innovación (elaboración propia)

	Categorización de Riesgos	Evaluación de alternativas tecnológicas	Experiencias pasadas	Análisis de procesos
Técnico	Requisitos Tecnología Complejidad e interfaces Rendimiento y Fiabilidad Calidad	¿Cuáles son los problemas técnicos que presenta el proyecto y cuya resolución necesita que se realicen actividades de investigación?	Rendimientos Iniciales obtenidos por debajo de lo planeado Necesidad de investigación posterior	Adecuación lenta de la tecnología a la realidad de los proyectos No hay compatibilidad de la calidad final del entregable con las EETT
De la organización	Dependencias del Proyecto Recursos Financiación Priorización	¿Requerirá de nuevas inversiones para la implementación del nuevo proceso a nivel comercial?. De ser así ¿De dónde piensa obtener el financiamiento de ellas?	Poco grado de interés de la gerencia del proyecto en mejoras con innovación manifestado en apoyo y presión sobre las áreas	Disponibilidad de operadores (caso de innovación en equipos) Resistencia de las cuadrillas al cambio
Externo	Subcontratistas y Proveedores Regulatorio Mercado Cliente Condiciones Climáticas	¿Existen trabas a nivel externo que impidan la implementación?	Falta del visto bueno de la supervisión y del cliente	Las condiciones climáticas pueden disminuir los rangos de mejora previstos
Dirección de Proyectos	Estimación Planificación Control Comunicación	¿Está el equipo que conforma la dirección del proyecto preparado para afrontar con éxito un método de trabajo como el planteado?	El área de mantenimiento desconocía el proceso de funcionamiento de las cuneteras Power Curber	No utilización de la tecnología por desconocimiento Planificación deficiente por falta de experiencia con la tecnología

Posterior a la identificación y evaluación de los riesgos, estos deberán ser gestionados con el fin de mitigar sus impactos o descartar la propuesta si este es muy alto.

3.2.4.4 Plan de implementación

Luego de seleccionar la alternativa ganadora es necesario involucrar a todo el equipo del proyecto junto con los especialistas para la adecuación de la tecnología (si lo requiere) y la puesta en marcha que incluirá capacitación y ejecución de pruebas. La figura 3.14 señala los puntos a tomar en cuenta:

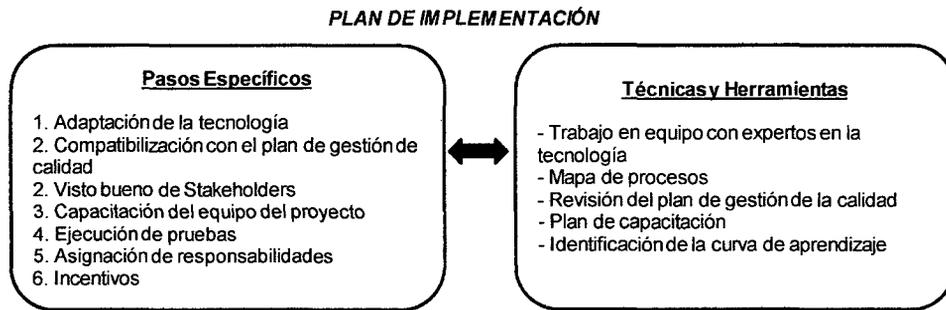


Figura 3.14 Pasos Específicos y Metodología para desarrollo del plan de implementación - Innovación tecnológica (elaboración propia)

Al igual que con los planes de mejoramiento a corto plazo, es necesario adecuar la nueva tecnología con el plan de gestión de la calidad del proyecto y con ello obtener el visto bueno de los Stakeholders (supervisores, cliente), es importante demostrar que la incorporación de las tecnologías generará valor al proyecto.

3.2.4.5 Incorporación al conocimiento de la empresa

Todo plan de mejora que demuestre buenos resultados debe ser parte del conocimiento corporativo ya que uno de los mayores problemas en la construcción es la falta de aprendizaje entre proyectos, lo que obliga a buscar las mismas soluciones una y otra vez. Se sugieren las técnicas de conversión de conocimiento tácito a explícito como los talleres de lecciones aprendidas y presentaciones virtuales en la base de datos de la empresa. La figura 3.15 señala los pasos que deben realizarse.

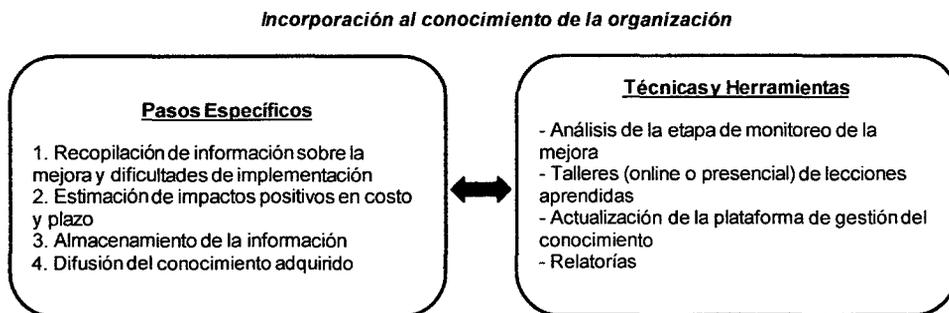


Figura 3.15 Pasos Específicos y Metodología para desarrollo incorporación al conocimiento de la organización (elaboración propia)

CAPITULO IV: DIAGNOSTICO DEL ESTADO ACTUAL

El ciclo de mejora de procesos propuesto en el capítulo anterior será utilizado para la mejora de la productividad en los procesos de pavimentación del proyecto: Mantenimiento y Rehabilitación de la Carretera Ayacucho – Abancay Km 0+050 – Km 0+098.8, que será utilizado como caso de estudio.

4.1 DESCRIPCIÓN DEL CASO DE ESTUDIO

4.1.1 Información general

El proyecto que se utilizará como caso de estudio es: Rehabilitación y Mejoramiento de la carretera Ayacucho-Abancay Km. 50+000 - Km. 98+800, que se encuentra ubicado en la provincia de Huamanga perteneciente al departamento de Ayacucho. El alcance lo conforman trabajos de rehabilitación hasta el nivel de asfaltado del tramo II de la carretera Ayacucho-Abancay Km. 50+000 (abra de Tocto) hasta la progresiva Km. 98+800 (localidad de Ocros), incluyendo las respectivas obras de arte. La longitud del tramo mencionado incluye 2 sectores con condiciones geográficas claramente diferenciadas (se incluye el layout general en los anexos)

- ✓ Desde el Km. 50+000 hasta Km. 79+000, el proyecto se desarrolla en la región puna, a una altitud promedio de 4100 msnm, el relieve topográfico predominante es ondulado y poco accidentado. En este sector se encuentran los volúmenes de relleno de mayor incidencia debido a la gran cantidad de material fangoso hallado.
- ✓ Desde el Km. 79+000 hasta Km- 98+820, la geografía de la zona es muy accidentada ya que desciende desde los 4100 msnm hasta los 3100 msnm. Aquí hay mayor presencia de volúmenes de corte cerrado y en ladera y también existen zonas pobladas en los últimos 5 km.

4.1.2 Alcance

El proyecto contempla el asfaltado de todo el tramo a nivel de carpeta asfáltica en caliente en un ancho de 7m en promedio, lo cual incluye 6m de calzada y 1m de

bermas laterales. La tabla 4.1 señala los metrados de las partidas más importantes del proyecto:

Tabla 4.1 Principales Partidas (adaptado del expediente técnico del Proyecto Carretera Ayacucho Abancay Km. 50+000 - Km 98+800, Consorcio Centro II, 2011)

Partida	Und.	Metrado Contractual	Metrado Sincerado
Movimiento de Tierras			
Corte en Roca Suelta	m3	253,165	303,520
Corte en Roca Fija	m3	470,022	375,290
Corte en Material Suelto	m3	318,768	394,600
Conformación de terraplenes	m3	397,802	260,905
Mejoramientos	m3	12,647	12,647
Pavimentos			
Sub-Base Granular	m3	58,524	58,524
Base Granular	m3	69,902	69,902
Pavimento Asfáltico	m3	28,995	28,995
Obras de Arte			
Excavación de Estructuras	m3	47,888	47,888
Relleno para estructuras	m3	36,007	36,007
Concreto (general)	m3	12,392	12,392
Transporte			
Material Granular d<=1 km	m3-km	460,801	297,485
Material Granular d>1 km	m3-km	11,053,529	3,169,808
Mezcla Asfáltica d<=1 km	m3-km	28,578	28,578
Mezcla Asfáltica d>1 km	m3-km	570,422	570,422
Material excedente d<=1km	m3-km	866,654	949,567
Material excedente d>1km	m3-km	12,446,619	4,815,627

4.1.3 Sistema de gestión del proyecto

El sistema de gestión del proyecto se basa en el manual de gestión de proyectos corporativo, el cual comprende los alcances, objetivos y procesos a seguir por cada área de manera general y por cada etapa del ciclo de vida del proyecto. Aún no se ha llegado a un nivel de detalle por especialidad (infraestructura, edificaciones, electromecánico, etc.) por lo que el manual es genérico y debe ser adecuado para cada obra particular. A continuación se resume el sistema de gestión seguido en el proyecto para variables de interés de la investigación:

✓ Gestión del Costo y Plazo

El área de control de proyectos es la responsable de realizar la gestión del costo y plazo, que se rige fundamentalmente por los procesos de seguimiento y control recomendados por el PMBOK (narrados en el capítulo 2), dada la gran cantidad de información relativa a las diferentes fases del proyecto, se cuenta con 3 encargados exclusivamente de sintetizar y procesar la información ("controladores"). Las

potenciales desviaciones de los objetivos referentes a costo y plazo se presentan mensualmente en el resultado operativo ante los apoderados y la dirección del proyecto.

✓ Gestión de la Calidad, Seguridad y Medio Ambiente

COSAPI y por lo tanto el proyecto en estudio estaba comprometido con la triple certificación relacionada con aspectos de calidad, seguridad y medio ambiente. Las áreas encargadas de dichos temas eran el departamento de calidad (incluye Control y Aseguramiento) y SSOMA. Actividades básicas de gestión como llenado de protocolos previo al inicio de las obra, liberación de acuerdo a la matriz de calidad, Análisis de Seguridad en el Trabajo (AST), check-list, entre otras son realizadas. Aspectos ambientales como la expropiación de terrenos y problemas con comunidades aledañas son coordinados con funcionarios del PACRI (Plan de compensación y reasentamiento involuntario).

✓ Gestión de la Producción

El departamento de producción se compone de 3 distintas especialidades: explanaciones y pavimentos, obras de arte y plantas industriales, cada uno con personal de dirección y cuadrillas diferentes. El control de la producción se realiza mediante la programación tri-semanal (Look Ahead) y la identificación de restricciones, la primera se trata en reuniones semanales entre todos los frentes de trabajo los días sábado y la segunda en una reunión de restricciones que se celebra los jueves. Cabe indicar que el jefe de todas las áreas es el ingeniero residente del proyecto.

✓ Gestión de los Recursos Humanos

A la fecha de estudio, el proyecto se componía de la gerencia del proyecto, 1 departamento operativo y 5 áreas de soporte. En los anexos se puede observar el organigrama general a la fecha de estudio.

4.1.4 Planeamiento y Programación

No obstante existe un diagrama de Gantt referencial para el control de los hitos contractuales, es más conveniente trasladar esa información a un gráfico Tiempo-Camino cuya presentación es más fácil de entender y presenta ventajas con respecto a los diagramas de barras para proyectos lineales. En los anexos se adjunta la revisión 6 del cronograma tiempo camino interno que se empleaba durante las fechas del estudio (junio 2013).

4.1.5 Personal involucrado y consideraciones éticas

En los anexos se incluyen detalles del personal de dirección y operativo que cordialmente colaboraron con la presente investigación. Es muy importante mencionar que al realizar un estudio del caso es posible que surjan conflictos éticos relacionados a la divulgación de información confidencial, por ello se tomaron en cuenta los siguientes puntos:

- ✓ Los objetivos de la investigación y métodos de recolección de datos se dejaron en claro al equipo del proyecto
- ✓ Sólo se utilizó información luego de obtener el consentimiento del responsable de gestionarla
- ✓ El gerente de proyecto debe dar su visto bueno a la información recolectada y procesada

4.1.6 Ingeniería de pavimentos en el proyecto

El diseño de pavimentos tomó en cuenta la variedad de características geotécnicas del suelo de fundación en toda la longitud del proyecto el cual se dividió en 5 tramos homogéneos. Las alternativas planteadas consistieron en construir la carretera a nivel de carpeta asfáltica o realizar un tratamiento superficial bicapa considerando el diseño "por etapas", es decir que se mejorará el diseño una vez que el tráfico ha crecido lo suficiente para ameritarlo, esto es recomendable en carreteras de penetración. La evaluación económica posterior determinó que la opción de carpeta asfáltica con periodo de análisis de 20 años es más conveniente en términos de inversión y de beneficios a los usuarios, del cual las capas obtenidas siguiendo el método AASHTO se ajustan mejor a los parámetros de diseño inicial y son menores

que los obtenidos con el método del Instituto del Asfalto por lo que se seleccionó como la alternativa a ser usada, la tabla 4.2 muestra de manera resumida los valores de las capas. En los anexos se muestra los planos del diseño de las capas por cada tramo.

Tabla 4.2 Espesores del pavimento (Tomado del Informe N°5, Capítulo de canteras, suelos y pavimentos del expediente técnico de ingeniería, Consorcio Centro II, 2011)

TRAMOS		PERIODO DE DISEÑO: 10 AÑOS			
		AASHTO			
Progresiva Inicio (km)	Progresiva Final (km)	CA (cm)	BASE (cm)	SUB BASE (cm)	REFUERZO A LOS 10 AÑOS (cm)
50+000	55+750	7.5	20	0	3
55+750	68+500	7.5	15	18	3
68+500	74+250	7.5	15	20	4
74+250	82+000	7.5	18	0	3
82+000	94+000	7.5	15	23	4
94+000	98+750	7.5	18	0	3

4.1.7 Especificaciones Técnicas de interés

El diseño de pavimentos mostrado debe complementarse con la recomendación constructiva de colocación de imprimado asfáltico antes de la carpeta asfáltica y además debe cumplir estrictamente las Especificaciones Técnicas contractuales (EETT) reflejada a través de la matriz de calidad del proyecto (adjunta en los anexos).

4.2 REVISIÓN DEL ALCANCE

Se agrupará las partidas del control de la estructura de división del trabajo del proyecto que tengan relación con los procesos constructivos de pavimentación asfáltica:

- ✓ Extendido y Compactado de Sub Base Granular
- ✓ Extendido y Compactado de Base Granular¹²

¹² No toda la longitud del proyecto contempla la capa de Sub Base, en el marco teórico se detalló el diseño del pavimento, sus espesores y sus respectivos tramos

- ✓ Imprimación Asfáltica
- ✓ Colocación de concreto asfáltico

Sin embargo, existen procesos que también participan directamente de la ejecución ya sea por criticidad como las actividades precedente dada la naturaleza lineal del proyecto, o también los que hacen las funciones de proceso de abastecimiento:

- ✓ Transporte de material granular y de mezcla asfáltica (importante por su alta incidencia en el costo)
- ✓ Construcción de cunetas
- ✓ Preparación y transporte de material granular y mezcla asfáltica

Es más conveniente incluir estos procesos dentro del grupo mencionado inicialmente y con la secuencia de actividades del planeamiento para fines de identificación del proceso crítico. Pero, para otras actividades como elaboración del flujo de caja o la determinación de márgenes si deben respetar el orden original.

Cabe mencionar que los procesos de transporte y producción se incluyeron para monitoreo del costo y carecen de “%” de avance pues este se podrá visualizar en el avance acumulado del proceso operativo respectivo. Para ponerlo más claro, el avance de “pavimentación de concreto asfáltico” dará muchas luces sobre el estado de avance de “producción de asfalto” y “Transporte de Mezcla Asfáltica” de los cuales será mucho importante conocer si sus costos son elevados, además si la causa de problemas del proceso operativo son aquellos de soporte como producción y transporte estos se identificarán siguiendo el ciclo de mejora.

En los anexos se adjunta las partidas de control en su totalidad junto con las incidencias en el costo total del proyecto.

4.3 DETERMINACIÓN DEL PROCESO CRÍTICO

Toda la información del proyecto que será utilizada en esta investigación corresponde al acumulado hasta el mes de Mayo del 2013 para la determinación del proceso crítico. Durante el mes de junio del 2013 (mes N°10 de los 15 meses de los que dispone el proyecto según el cronograma interno), se considera que luego de transcurrida esa cantidad de tiempo se han solucionado todos los problemas de

arranque de una obra, todas las áreas poseen el personal necesario y la curva de aprendizaje se ha estabilizado. Cabe indicar que también se ha superado la época de lluvias que motivó la reducción de personal y ralentizó el ritmo de avance del proyecto (enero a marzo). La información del ISP (Informe Semanal de Producción) relativa a costo, plazo y además el registro de auditorías de calidad acumulada hasta fines de mayo del 2013 se resume en la tabla 4.3 para los procesos que tienen relación directa con la pavimentación asfáltica.

Tabla 4.3 Control de Procesos (adaptado del Resultado Operativo de Mayo 2013 del proyecto Carretera Ayacucho-Abancay Km. 0+050-Km. 98+800)

Proceso	Incidencia (%)	Responsable	Mostrado Acumulado	CPI acum	SPI acum	NC	FOM
Mejoramiento a Nivel de Sub Rasante	0.2%	JOA	73.69%	1.21	0.92	-	0.18
Producción de Sub Base y Base granular	1.2%	PPF	-	0.95	-	-	
Transporte de material de relleno granular de relleno	10.5%	PPF	-	1.24	-	-	
Extendido y Compactado Sub Base Granular	0.5%	JOA	64%	0.84	0.78	1	0.76
Extendido y Compactado Base Granular	0.8%	JOA	62.30%	0.77	0.80	3	1.29
Imprimación Asfáltica	0.2%	JOA	58.24%	1.16	0.86	-	0.20
Cunetas	1.4%	EZM	55.12%	1.2	0.98	2	1.18
Producción de Mezcla Asfáltica	2.7%	PPF	-	0.94	-	-	
Transporte de Mezcla Asfáltica	0.6%	PPF	-	1.39	-	-	
Colocación de Mezcla Asfáltica en caliente	0.5%	JOA	51.54%	0.99	0.87	2	0.58

Proceso Crítico



Donde:
CPI : Cost Performance Index acumulado
SPI : Schedule Performance Index acumulado
NC : Número de No Conformidades

Cabe indicar que el factor de oportunidad de mejora (FOM), sólo se aplica para los casos de procesos que pertenecen a la ejecución de actividades relacionadas a la ejecución lineal y no a los de soporte como producción de agregados y transporte. De la tabla 4.3 se puede observar que el transporte de material granular posee buenos indicadores, esto es consecuencia de haber tomado medidas adecuadas para disminuir lo mayor posible las interrupciones en la movilización interna de material de relleno y eliminación de los excedentes. De los procesos de pavimentación resalta que la colocación de base granular tiene indicadores de muy baja cuantía y por lo tanto el factor FOM es el mayor lo que indica que muy probablemente es el proceso crítico. Esto se refuerza al considerar que además posee mayor número de observaciones a la calidad (en los anexos se adjunta el detalle de las no-conformidades), los indicadores además reflejan que el ritmo de avance de Base y Sub Base es lento en tal medida que la imprimación asfáltica

está por alcanzarlo, y además como ambas capas son realizadas por la misma cuadrilla no se puede estudiar aisladamente a la base. Se incluyó el proceso de cunetas debido a su criticidad pues es necesario ejecutarlas para poder continuar con el asfalto.

En cuanto a los procesos relacionados a la colocación de mezcla asfáltica, la producción de mezcla y la posterior colocación y compactación se encuentran cerca del límite, el proceso de colocación en sí mismo ha venido llevándose a cabo con eficiencia económica pero se encuentra retrasado ($SPI < 1$) debido al retraso general acumulado de las capas anteriores y además es el segundo proceso con mayor número problemas en la calidad.

Por lo señalado en el párrafo anterior, los procesos operativos que poseen el desempeño más pobre son la colocación de Sub Base, Base y colocación de mezcla asfáltica, pero el resultado económico de los 2 primeros es mucho más desfavorable y la incidencia en costo de amos en conjunto es mayor, además su ritmo de producción ha generado una distorsión en el avance continuo, esto se puede observar en la diferencia de avance con el proceso anterior (Sub Rasante) que bordea el 10% mientras que los siguientes (imprimación y cunetas) son más cercanos (5% y 7%). Esto indica que tanto el uso de los recursos es excesivo y tampoco se cumplen las metas establecidas. Como la ejecución tanto de Sub Base y Base es realizada por la misma cuadrilla, siguen los mismos procedimientos y el entregable es muy parecido (sólo varía el espesor) se escoge a ambos como los **procesos críticos o rectores**.

Luego, podemos analizar los distintos recursos que componen los procesos críticos y su respectiva incidencia (ver figura 4.1):

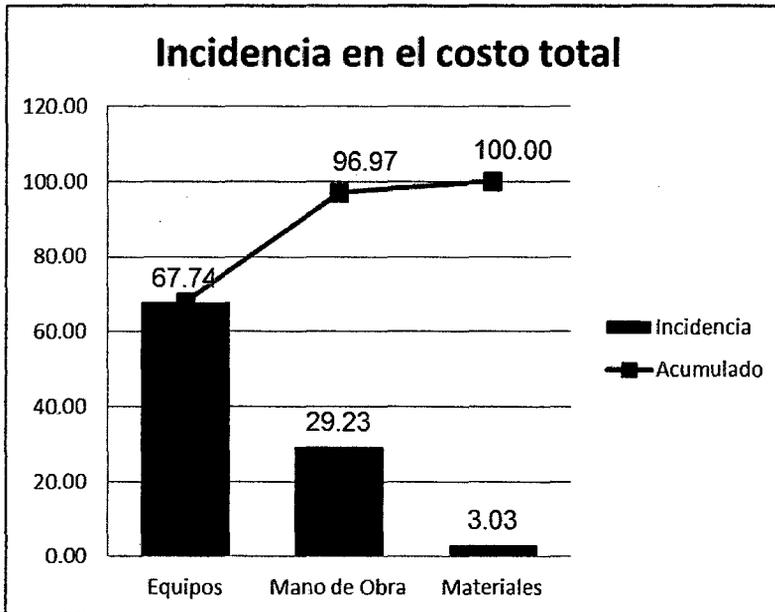


Figura 4.1 Incidencias en el costo (elaboración propia)

El costo de los equipos es considerablemente mayor al resto de insumos que componen el costo total, aunque el material granular no está considerado en el precio. Se esclarece que la distribución de incidencias se realizó respecto al costo meta del proyecto que es el valor con el que se trabajará en la presente investigación.

4.4 MEDICIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE LA PRODUCTIVIDAD

4.4.1 Observación de actividades en el campo

Antes de iniciar con los estudios de productividad en campo respectivos se debe entender la secuencia de actividades que se desarrollan en el campo, identificar los responsables directos y planear el trabajo que se llevará a cabo (tiempo requerido, tipo de estudios, etc.). Para ello se dibujó el mapa de procesos de la colocación y compactación de Sub Base y Base granular, ambos se representan con un solo diagrama pues los procesos constructivos son similares (ver figura 4.2).

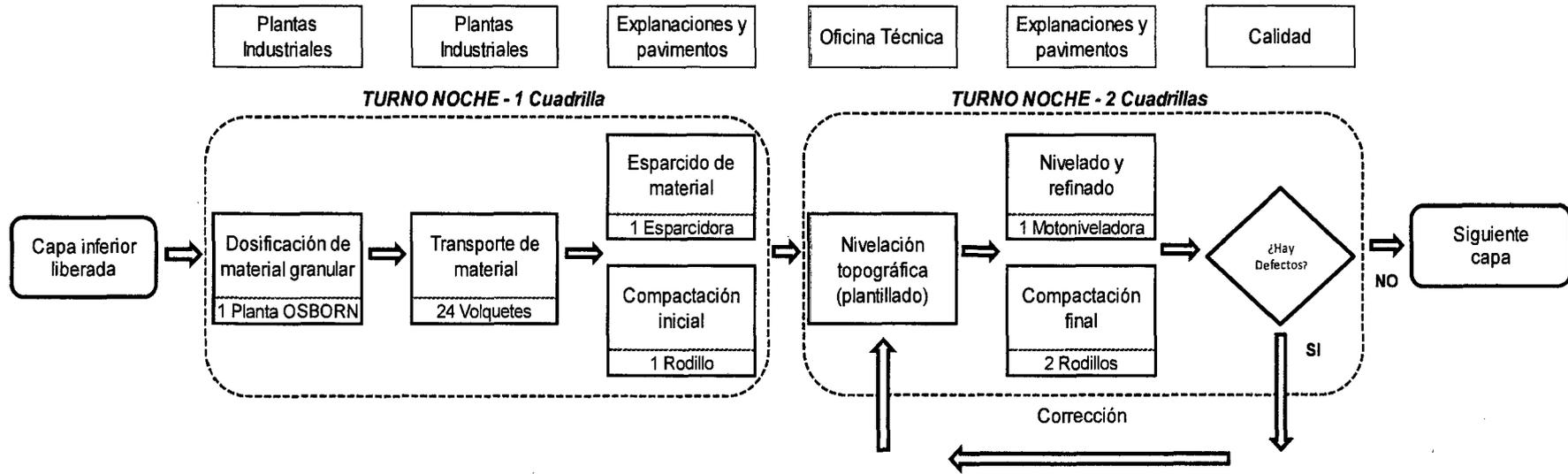


Figura 4.2 Mapa de procesos de la colocación y compactación de Base y Sub Base granular (elaboración propia)

En el diagrama de flujo se considera que el día inicia con la jornada nocturna pues el esparcido es necesario para poder realizar actividades de refinado.

A continuación se describe los principales subprocesos que se requieren durante la ejecución:

✓ **Dosificación del material en planta:**

Consiste en la preparación del material a utilizar de acuerdo al diseño de mezcla aprobado, que consiste en 85% de material de la cantera del Km 71+360 (cantera de roca explotada con uso de explosivos) y 15% proveniente de la cantera del Km 63+700 (arena con alta cantidad de finos), ver figura 4.3.



Figura 4.3 Imagen de la planta dosificadora de suelos OSBORN (fuente propia)

✓ **Transporte de material:**

Dependiendo de la cantidad de material solicitado (el cual se monitorea constantemente mediante los jefes de planta de y de frente) se envían los volquetes cargados hasta la progresiva donde se lleva a cabo la colocación de Base o Sub

Base. La flota de camiones se compone de 24 volquetes de 15 m³ de capacidad aproximada, ver figura 4.4.



Figura 4.4 Imagen del pull de volquetes en planta (fuente propia)

✓ **Esparcido del material y sellado y sellado.**

El material transportado se descarga en la tolva de la esparcidora de áridos, cuya capacidad es de un solo carril. El espesor que se aplica en caso de Sub Base es 32 cm y de Base 25 cm, los cuales son evaluados constantemente mediante el uso de un escantillón metálico. Los anchos se señalan previamente con el empleo de yeso. Una vez conformada la capa se procede a compactarla mediante un rodillo vibratorio para conseguir el espesor del diseño (23 cm en Sub Base y 15 cm en Base) y además “sellarla” contra la acción de agentes ambientales. Esta actividad se realizaba de noche debido a que durante el día la encofradora deslizante “cunetera” Power Curber obstruía el flujo constante de volquetes disminuyendo el rendimiento del proceso, ver figura 4.5.



Figura 4.5 Esparcido de material granular (fuente propia)

✓ **Nivelación de cotas topográficas:**

Al día siguiente, la brigada topográfica realiza la nivelación altimétrica del tramo previamente esparcido de acuerdo a la base de datos de cotas del proyecto, dejando 3 "plantillas" (bolonería con cal) cada 10 m con los cuales el operador de la motoniveladora se guiará visualmente para proceder con la nivelación respectiva. El control manual (con escantillón) de los espesores durante el esparcido no dispone de la precisión necesaria para los requerimientos de las EETT por lo que es común que las capas requieran de bastante trabajo de corte y relleno compensado, lo cual se intensifica en tramos curvos debido al peralte pronunciado de los mismos.

✓ **Nivelado y Refinado:**

Luego de plantillado el tramo, la motoniveladora nivela los tramos con el corte y relleno compensado respectivo para finalmente refinarla hasta llegar a la cota deseada. Esta actividad se realizaba sólo durante el día debido a la imposibilidad de realizar trabajos de plantillado topográfico y refine durante la noche. Cabe indicar que parte de la cuadrilla tiene el trabajo exclusivo de desenterrar y colocar yeso sobre las plantillas (ver figura 4.6).

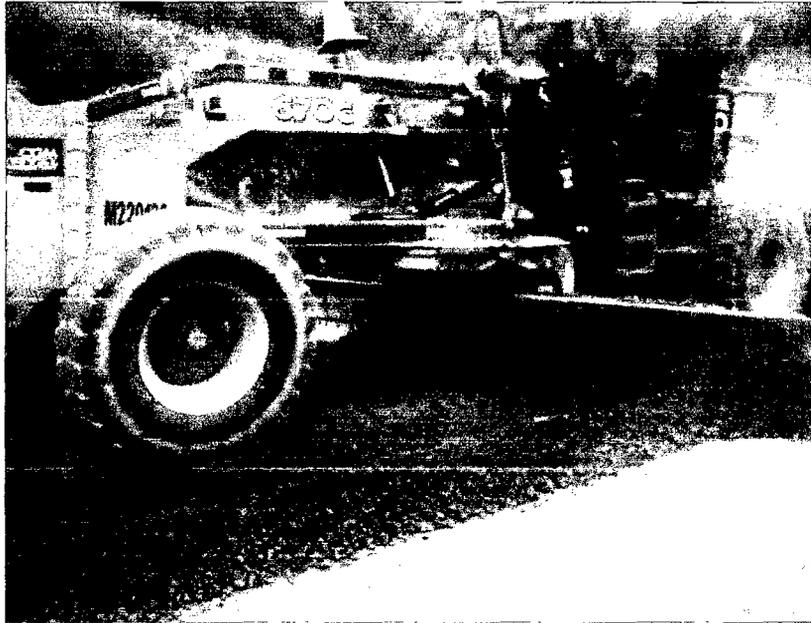


Figura 4.6 Imagen de una pasada de motoniveladora (fuente propia)

✓ **Compactación final:**

Simultáneamente al nivelado y refinado, 2 rodillos se encargan de transmitir la energía de compactación a la capa de tal manera que se alcance los niveles solicitados en la especificación para este trabajo se requiere proporcionarle cierta humedad al material, de lo cual está a cargo la cisterna de agua, ver figura 4.7.



Figura 4.7 Compactación de la capa granular (fuente propia)

4.4.2 Identificación de problemas en campo

Antes de iniciar las mediciones en campo es conveniente entrevistar a los involucrados en los procesos constructivos en estudio como: ingenieros de campo, capataces y obreros, pues nadie conoce mejor los problemas que suceden durante las operaciones que ellos. En esta parte del estudio, sólo se consideraron respuestas acerca de problemas de índole operativa dejando de lado respuestas que involucraban factores externos (condiciones climáticas) y humano (problemas de motivación, pagos, etc.).

Se optó por abordar de manera individual a los jefes de grupo (ingenieros y capataces) y de manera grupal a los obreros (durante las horas del almuerzo). Los hallazgos más importantes se muestra en la tabla 4.4:

Tabla 4.4 Problemas identificados (elaboración propia)

Problemas Hallados	Descripción
Personal de calidad le da mayor importancia al frente de asfalto	La cuadrilla debe esperar mucho tiempo antes de la liberación de los tramos pues el personal de calidad se encuentra ocupado con el frente de asfalto
Existencia de tramos "ventana"	Necesidad de dejar tramos incompletos por restricciones no levantadas como obras de arte no completadas a tiempo
Rodillo Sakai no es el adecuado	De acuerdo a los operadores de la segunda cuadrilla, calidad rechazaba la mayor parte de los tramos desde que cambiaron sus rodillos Bomag por Sakai
Falta de regado constante en el frente de trabajo	Durante las horas de la tarde se requiere mayor regado para controlar las polvaredas que interfieren con el trabajo de nivelado
Demoras en la llegada de material granular	La cantidad de volquetes necesaria para el transporte de material no se actualiza constantemente

4.4.3 Identificación del flujo de valor dentro del proceso

Siguiendo la metodología planteada, se debe tomar consideraciones que permitan el adecuado uso de la herramienta “Mapa de Flujo de Valor” en procesos de pavimentación:

- ✓ La unidad del entregable en este caso será el “metro lineal” (ml) de material colocado y compactado
- ✓ El sistema de seguimiento y control de COSAPI está muy desarrollado, prueba de ello son la ejecución mensual de resultados operativos y la emisión de informes semanales de producción (ISP), lo que permitirá la adquisición de todos los datos cuantitativos necesarios
- ✓ El mapa será en función del diagrama de flujo mostrado en la figura 4.4
- ✓ Los indicadores deberán ser acordes a la naturaleza de los procesos constructivos de base y sub granular

4.4.3.1 Definición de indicadores

Los procesos operativos principales en estudio poseen las características siguientes:

- ✓ Se componen de 2 tareas claramente diferenciadas por guardia y por tipo
- ✓ Son ejecutadas predominantemente por equipos de construcción
- ✓ La secuencia constructiva incrementa la criticidad de la liberación de capas (una capa no puede ejecutarse sin haberse liberado la inmediata inferior)
- ✓ La cadena de suministro es interna (material granular)
- ✓ El flujo de información se da a través de una plataforma virtual (correos electrónicos)

Se tomó en cuenta lo mencionado y algunos parámetros en común entre de los sistemas de producción manufactureros y la construcción como: tiempos improductivos, rendimientos, etc. para proponer indicadores que caractericen eficazmente a ambos procesos. Estos se separaron en 3 categorías, los relativos a la eficiencia, eficacia y de calidad. La tabla 4.5 muestra la relación de indicadores seleccionados.

Tabla 4.5 Relación de indicadores para caracterización del flujo de producción (elaboración propia)

	NOMBRE	NOMBRE DEL INDICADOR	UND	CUANTIFICA	FUENTE
Eficiencia	Brecha del Costo Unitario de Producción	BCUP	\$/m ³	La diferencia del ratio de producción presupuestado con el real obtenido	Registro de avances diarios (en m ³) y consumo de horas máquina (HM) y horas hombre (HH)
	Porcentaje de Tiempos No Contributorios	TNC	%	Porcentaje del tiempo total de la jornada durante el cual un equipo realiza trabajo no contributivo	Estudio de tiempos
	Tiempos Improductivos por falta de frente	TIF	%	Porcentaje del tiempo total de la jornada durante el cual un equipo no dispone de frente de trabajo	Estudio de tiempos
	Desabastecimiento de material granular	DESAB	hrs	Tiempo promedio de esperas (por jornada) debido a falta de volquetes con material granular	Estudio de tiempos
	Inventarios de trabajo en proceso	INV	m ³	Cantidad de capas granulares sin ser entregadas	Líneas de balance de la producción
	Tiempo de Inventarios	TI	días	El tiempo que tardará llevar a cabo las capas sin terminar	Conversión de inventarios a tiempo
	Desperdicio	DESP	%	Exceso de desperdicio de material granular en relación al presupuestado	Registro de desperdicio de material
	Disponibilidad Mecánica	DM	%	% de horas máquina en que el equipo está disponible para ser usado	Control de disponibilidad vs utilización de equipos
	Tiempo de Entrega	TE	días	Tiempo que tarda una capa en recorrer todo el flujo de producción hasta su entrega	Diagramas de flujo y tiempo de inventarios
	Tiempo de valor agregado	TVA	días	Tiempo en que se añade valor dentro del flujo de producción	Diagramas de flujo y tiempo de inventarios
	Porcentaje de valor agregado	PVA	%	Porcentaje del tiempo en que se añade valor dentro del flujo de producción	Diagramas de flujo y tiempo de inventarios
Eficacia	Producción Promedio	PP	m ³	Promedio de la producción diaria	Registro de producción diario de ambas guardias
	Variabilidad de Producción	VP	-	Coefficiente de dispersión de la producción diaria	Control estadístico del Registro de producción diario
	Porcentaje de plan cumplido	PPC	%	% de metas de producción cumplidas en relación con las planificadas (diario)	Registro de producción diario de ambas guardias
3.3.3.3	Tiempo de no calidad (Non-Quality Time)	NQT	%	% del tiempo no contributivo por retrabajos	Estudio de tiempos

4.4.3.2 Brecha de Costo Unitario de Producción (BCUP):

De acuerdo a la observación de actividades en campo, se identificó que los procesos de colocación de Base y Sub Base granular se realizan en 2 turnos, de día y de noche, pero a diferencia de otros procesos donde se ejecutan las mismas actividades en ambas guardias, en estos procesos en particular un turno realiza la dosificación en planta, transporte, mezclado y esparcido (noche) y la otra guardia el nivelado, refinado y la compactación final (día). Ambas guardias usan equipos distintos y por lo tanto se controlan por separado, integrándose solamente para el cómputo de los indicadores finales como el SPI, CPI o el margen. La información de

los registros de uso de recursos como las Horas Hombre (HH) de los tareos, Horas Máquina (HM) de los partes de operador y vales de consumo de combustible de almacén se recopilaron y la producción diaria es estimada en el campo por los jefes de frente y corroborada por el ingeniero de productividad, de esa manera se monitoreó el costo unitario de producción diario de ambas guardias.

En las tablas 4.6 y 4.7 se muestran un resumen por guardia de las actividades y las cuadrillas de los procesos de colocación de base y sub base granular, además del resultado operativo del costo disgregado por recurso (MO, EQ y materiales) obtenido en el mes de junio del 2013 (se adjunta en los anexos el reporte de control con mayor detalle):

Tabla 4.6 Resumen del Control en Colocación de Sub Base (elaboración propia)

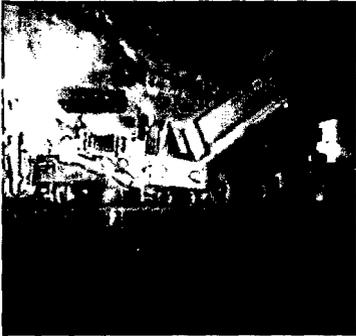
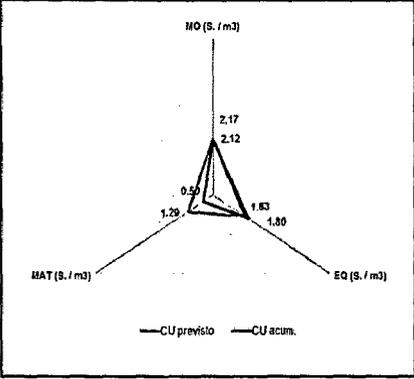
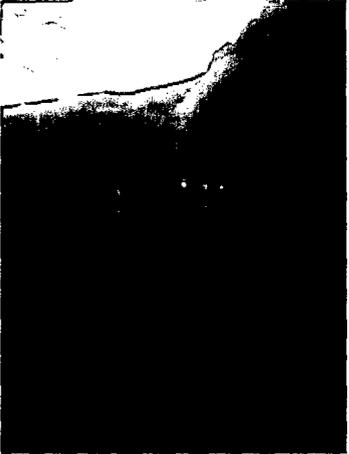
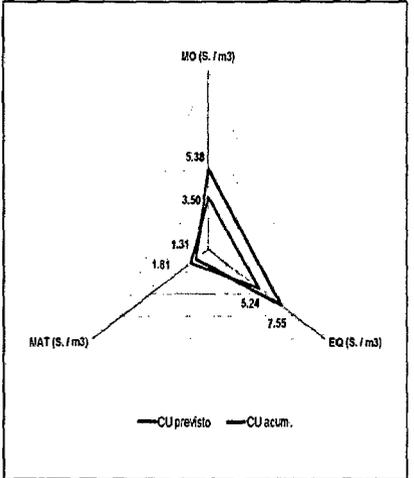
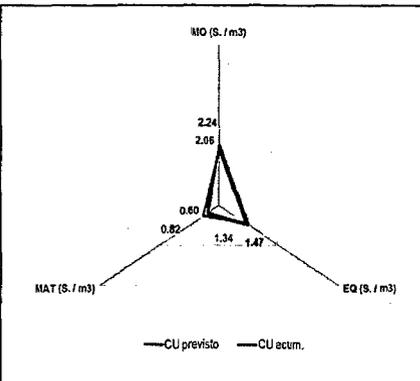
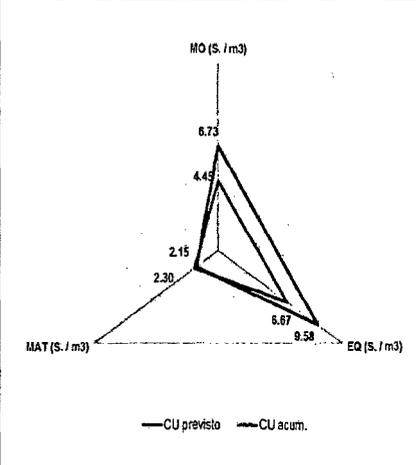
GUARDIA	DESCRIPCION DE ACTIVIDADES	FOTOGRAFIAS	COMPOSICION DE LA CUADRILLA			RESULTADO
			Recurso	Cant.	Categoría	
TURNO NOCHE - GUARDIA A	La cuadrilla A se dedica a esparcir el material de sub base dosificada, evitando así interrupciones en el flujo de volquetes por presencia de la cunetera e interferencias con otros frentes que también necesitan transportes (conformación de terraplenes, eliminación de material de corte)		MANO DE OBRA	1	Jefe de Grupo	
				1	Op. Esparcidora	
				1	Op. Rodillo Compactador	
				2	Oficial	
EQUIPOS	1	Esparcidora Blaw Knox	1.29			
	1	Rodillo de 12 Ton		0.50		
	2	Luminaria Terex		1.83		
MATERIALES	Consumido	Petroleo Biodiesel B5	1.80			
	5% de EQ	GET's de equipos				
	5% de MO	Herramientas				
TURNO DIA - GUARDIA B	La cuadrilla B perfila el nivel de base y sub base de acuerdo a los niveles topográficos indicados en terreno mediante las plantillas, posteriormente realiza la compactación final de las capas.		MANO DE OBRA	1	Jefe de Grupo	
				2	Op. Motoniveladora	
				4	Op. Rodillo Compactador	
				1	Op. Sistema de agua	
EQUIPOS	2	Operario	1.81			
	2	Oficial		3.50		
	2	Ayudantes		5.38		
MATERIALES	Consumido	Petroleo Biodiesel B5	5.24			
	5% de EQ	GET's de equipos				
	5% de MO	Herramientas				
EQUIPOS	2	Motoniveladora CAT 140K	7.55			
	4	Rodillo de 12 Ton				
	1	Sistema de Agua 5000 Gin				

Tabla 4.7 Resumen del Control en Colocación de Base (elaboración propia)

GUARDIA	DESCRIPCION DE ACTIVIDADES	FOTOGRAFIAS	COMPOSICION DE LA CUADRILLA			RESULTADO
			Recurso	Cant.	Categoría	
TURNO NOCHE - GUARDIA A	La cuadrilla A esparce la base granular previamente dosificada, también lo realiza durante la noche		MANO DE OBRA	1	Jefe de Grupo	
				1	Op. Esparcidora	
				1	Op. Rodillo Compactador	
				2	Oficial	
EQUIPOS	1	Esparcidora Blaw Knox	0.60			
	1	Rodillo de 12 Ton		0.82		
	2	Luminaria Terex				
MATERIALES	Consumido	Petroleo Biodiesel B5	5% de EQ			
	5% de EQ	GET's de equipos				
	5% de MO	Herramientas				
TURNO DIA - GUARDIA B	La cuadrilla B perfila el nivel de base siguiendo los niveles topográficos indicados en terreno mediante las plantillas, posteriormente realiza la compactación final de las capas.		MANO DE OBRA	1	Jefe de Grupo	
				2	Op. Motoriveladora	
				4	Op. Rodillo Compactador	
				1	Op. Sistema de agua	
EQUIPOS	2	Operario	2.15			
	2	Oficial		2.30		
	2	Ayudantes				
MATERIALES	4	Vigías	5.67			
	2	Motoniveladora CAT 140K				
	4	Rodillo de 12 Ton				
MATERIALES	1	Sistema de Agua 5000 Gln	9.58			
	Consumido	Petroleo Biodiesel B5				
	5% de EQ	GET's de equipos				
				5% de MO	Herramientas	

De acuerdo a las 2 tablas anteriores, el desempeño del turno noche es muy cercano al deseado ya que su costo final es menor que el costo meta por recurso (MO, EQ y Materiales), mientras que el del turno día si posee una marcada brecha entre el costo meta y el costo obtenido, sobre todo en mano de obra y equipos. Las tablas siguientes (4.8 y 4.9) señalan el resumen económico y productivo de ambas capas y turnos.

Tabla 4.8 Resumen de desempeño de Sub Base Granular (elaboración propia)

Turno	CU Previsto (S./m3)	CU Diario Prom (S./m3)	Brecha (S./m3)
Noche	5.08	4.42	0.66
Día	10.55	14.24	-3.69

Tabla 4.9 Resumen de desempeño de Base Granular (elaboración propia)

Turno	CU Previsto (S./m3)	CU Diario Prom. (S./m3)	Brecha (S./m3)
Noche	6.46	4.31	2.15
Día	13.42	18.47	-5.05

El análisis anterior es más específico que el análisis de valor ganado general y por lo tanto permite obtener un mayor panorama sobre lo que en realidad ocurre en el campo. Mediante la interpretación de los resultados se llegó a la siguiente conclusión:

- ✓ Los costos incurridos por unidad de producción de la guardia día – encargada de los subprocesos de refine y compactación final- supera al costo meta y elimina todos los beneficios económicos que obtuvo la guardia noche, lo cual se refleja en los indicadores globales CPI y SPI.

4.4.3.3 Tiempos No Contributorios (TNC y TIF)

Estos indicadores se determinarán mediante el estudio del trabajo (medición de tiempos y estudio de métodos) de los principales equipos que participan de los procesos constructivos: esparcidora, motoniveladoras y rodillos. En esta parte de la investigación es conveniente presentar los resultados del estudio del trabajo para un mejor entendimiento y no sólo el cálculo de los indicadores.

Previamente a los resultados se relatan las consideraciones tomadas:

- ✓ El estudio en campo se realizó en conjunto con el ingeniero de productividad del proyecto: Ing. Angel Parisuaña
- ✓ Se tomaron mediciones por 7 días (del 21 al 30 de junio del 2013 sin considerar 2 domingos) durante toda la jornada, incluyendo tiempo de llenado de ATS y refrigerios
- ✓ Durante los 7 días se utilizó el formato de medición de tiempos (mostrado en los anexos) para las actividades de esparcido, nivelado y compactación final
- ✓ El procedimiento constructivo de base y sub base granular es idéntico y además es realizado por las mismas cuadrillas, por lo que los tiempos improductivos serán los mismo en ambos casos, por esta razón los datos del estudio de tiempos de las 2 capas se procesarán de manera indistinta para su presentación

Se muestran previamente los datos genéricos del estudio (tablas 4.10, 4.11 y 4.12)

Tabla 4.10 Datos del estudio de Sub Base Granular (elaboración propia)

Actividad	Esparcido de Capas Granulares
Fechas	22/06/2013 - 29/06/2013
Periodo de estudio	07:00 pm - 06:00 am
Progresivas	85+880 - 89+090
Longitud Analizada	974m
Ing. Responsable	Ing. Juan Orellana
Jefe de Grupo	Sr. Víctor Ariaz

Tabla 4.11 Clasificación de las actividades (elaboración propia)

CLASE	ACTIVIDAD
TP	COLOCACION DE MATERIAL
TC	ENCENDIDO DE MOTOR TRANSPORTE A ZONA DE TRABAJO TRANSPORTE CAMBIO DE VOLQUETE MEDICIONES (LATERALES Y DE INDICACIONES COMBUSTIBLE Y ENGRASE
TNC	PARO (MOTOR APAGADO) ESPERA POR MATERIAL FALLA MECANICA ESPERA POR FALTA DE FRENTE ESPERAS DE ARRANQUE OTRAS ESPERAS

Cabe indicar que la actividad "cambio de volquete" ocurre cuando la producción es continua y sólo se espera el retroceso del volquete hacia la tolva de la esparcidora. "Espera por material", en cambio, hace referencia cuando la producción se detiene al no estar presente ningún camión con material. Mediante la clasificación mostrada se tomaron los tiempos en el campo, los resultados globales para Base y Sub Base se muestran en la tabla 4.12 y figura 4.8.

Tabla 4.12 Resultado del estudio de tiempos de la esparcidora Blaw Knox (elaboración propia)

I	SABADO	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO
	22/6/13	24/6/13	25/6/13	26/6/13	27/6/13	28/6/13	29/6/13
TP	35.2%	34.2%	34.5%	30.5%	31.9%	34.6%	24.7%
TC	29.0%	25.7%	30.9%	29.8%	25.5%	26.5%	24.5%
TNC	35.8%	40.2%	34.7%	39.8%	42.7%	38.9%	50.8%
Avance (m) Sub Base	740	200	320	620	450	380	150
Número de Volquetes Sub Base	78	24	35	67	48	40	16
Avance por volquete Sub Base (2 carriles)	9.49 m/Volq.	8.33 m/Volq.	9.14 m/Volq.	9.25 m/Volq.	9.38 m/Volq.	9.50 m/Volq.	9.38 m/Volq.
Avance (m) Base	160	460	600	220	310	360	320
Número de Volquetes Base	14	35	53	18	25	28	23
Avance por volquete Base (2 carriles)	11.43 m/Volq.	13.14 m/Volq.	11.32 m/Volq.	12.22 m/Volq.	12.40 m/Volq.	12.86 m/Volq.	13.91 m/Volq.
Espera por volquete	65.1 min	72.3 min	62.4 min	67.6 min	65.5 min	69.8 min	73.9 min

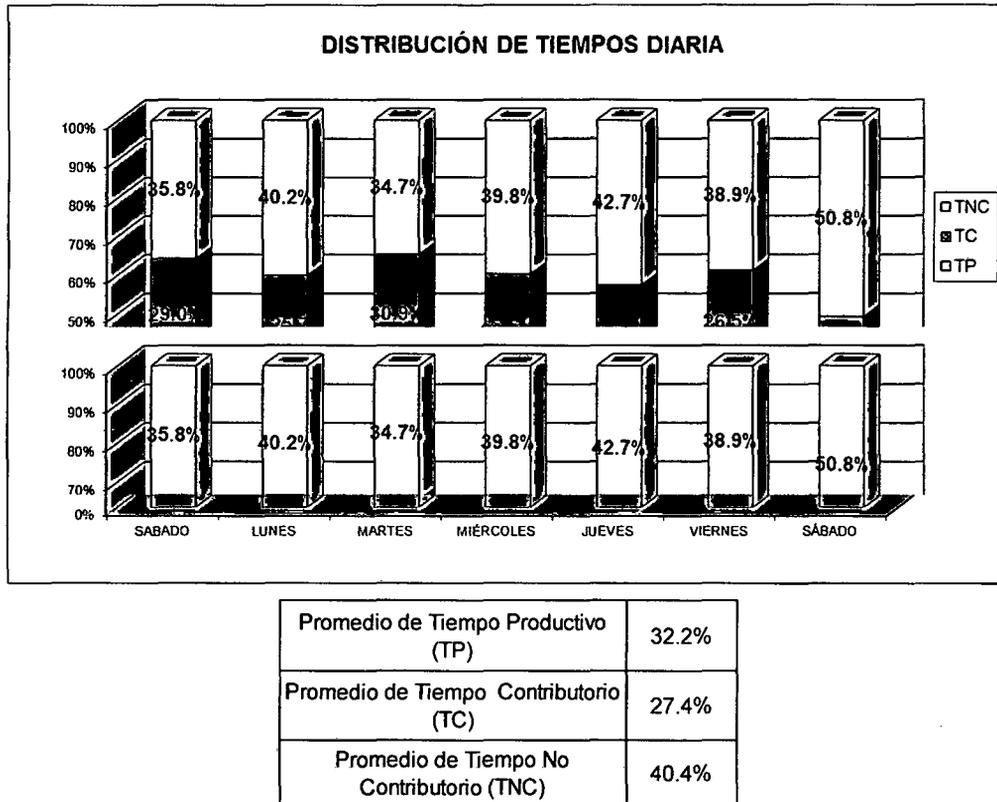


Figura 4.8 Gráfico de la descomposición del trabajo (elaboración propia)

En el gráfico siguiente se observa la incidencia acumulada de los Trabajos No Contributorios (figura 4.9):

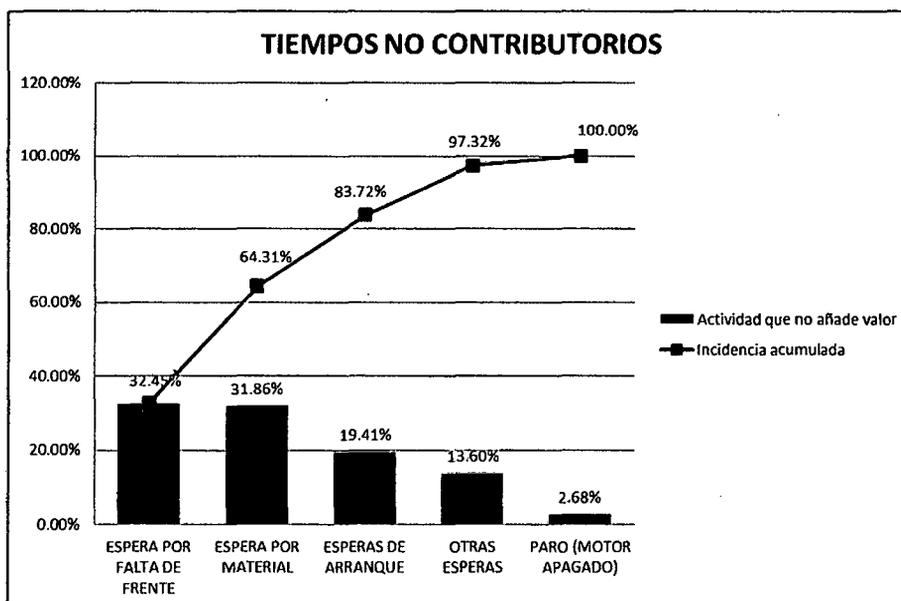


Figura 4.9 Incidencia del Trabajo No Contributorio (elaboración propia)

Se puede observar que las esperas por volquetes con material y las esperas por falta de frente son la mayor fuente de tiempos improductivos, los cuales condicionan el avance de la esparcidora. En el rubro "Otras Esperas" se encuentran aquellas paradas que por sí solas no poseen gran impacto como la Interferencia con muros de contención e inspección de ATS por parte de personal de seguridad.

En "esperas de arranque" se incluyeron los tiempos antes del inicio de las operaciones como:

- ✓ Falta de herramientas y/o consumibles (luminarias, escantillones, etc.)
- ✓ Inasistencia de operadores y/o vigías

Los indicadores buscados en esta parte se determinarán al compilar los tiempos no contributorios, la tabla 4.13 muestra el resultado obtenido:

Tabla 4.13 Indicadores TEP y TNCE del esparcido (elaboración propia)

Porcentaje de Tiempo No Contributorio	TNC	41% del tiempo total
Tiempos Improductivos por falta de frente	TIF	13.1% del tiempo total

Nivelado y Refinado:

De la misma manera se procederá a detallar los resultados del estudio para las motoniveladoras y los rodillos (ver tablas 4.14 a 4.17).

Tabla 4.14 Datos del estudio de Nivelado y Refinado (elaboración propia)

Actividad	Nivelado y Refinado
Equipos	2 Motoniveladora Jhon Deere 670G (M1 y M2)
Periodo de estudio	07:00 am - 06:00 pm
Ing. Responsable	Ing. Fernando Vela
Jefe de Grupo	Sr. Juan Hernández

Tabla 4.15 Datos del estudio de Compactación (elaboración propia)

Actividad	Compactación
Equipos	2 Rodillos Sakai (R1 y R2) 1 Rodillo Bomag (R3) 1 Rodillo Hamm HD 90 (R4)
Periodo de estudio	07:00 am - 06:00 pm
Ing. Responsable	Ing. Fernando Vela
Jefe de Grupo	Sr. Juan Hernández

Tabla 4.16 Fechas del estudio (elaboración propia)

Capa	Equipo			Fecha
Sub Base	M1	R1	R2	22 de junio
	M2	R3	R4	24 y 25 de junio
Base	M1	R1	R2	26 y 27 de junio
	M2	R3	R4	28 y 29 de junio

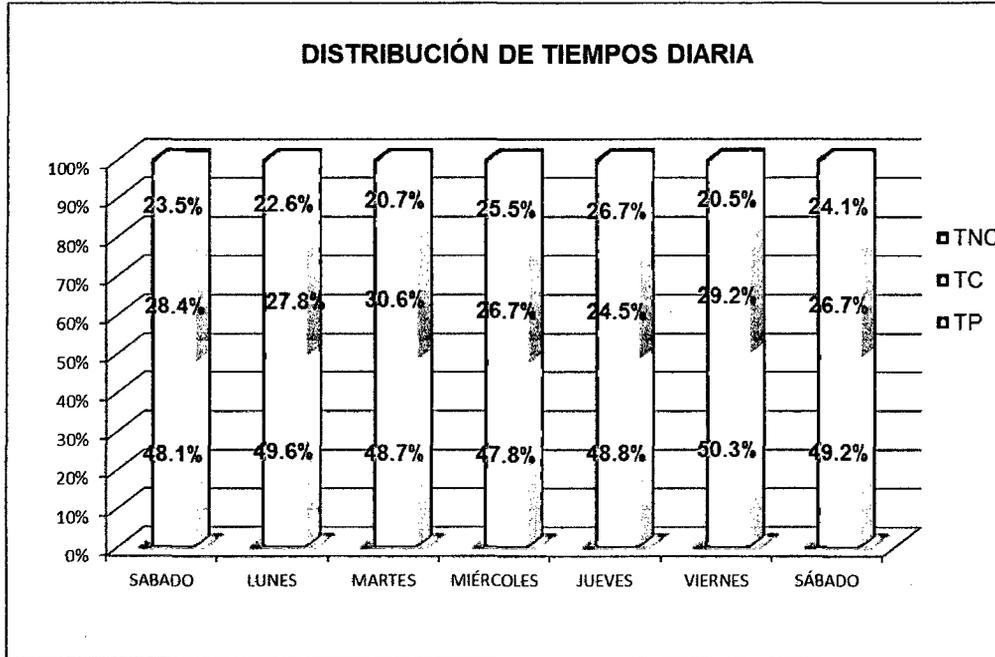
Tabla 4.17 Clasificación del trabajo (elaboración propia)

CLASE	ACTIVIDAD
TP	ESCARIFICADO CONFORMADO Y BATIDO NIVELADO (CORTE Y RELLENO COMPENSADO) REFINADO
TC	ENCENDIDO DE MOTOR TRANSPORTE A ZONA DE TRABAJO INDICACIONES INSPECCIÓN DE NIVELES PLANTILLADO TOPOGRÁFICO COMBUSTIBLE Y ENGRASE
TNC	ESPERAS POR CISTERNA ESPERA POR BRIGADA TOPOGRÁFICA TRABAJO EN OTRO FRENTE (RETRABAJO) OTRAS ESPERAS PARO (MOTOR APAGADO) FALLA MECÁNICA

Se debe precisar que:

- ✓ Escarificado refiere a la utilización del “reeper” para quitar el confinamiento a la capa
- ✓ Luego del escarificado se bate el material granular y se conforma mediante la cuchilla hasta obtener una superficie uniforme
- ✓ El nivelado se dará una vez que topografía haya marcado las cotas respectivas (comúnmente denominado plantillado) mediante el corte y relleno compensado ya que no se requiere de más material
- ✓ Refinado hace mención a las pasadas finales con el objetivo de darle el acabado y la precisión necesaria a la capa de acuerdo a las EETT
- ✓ Se considera como Trabajo No Contributorio al “Trabajo en Otro Frente” pues esto significa que hubo defectos y todo re trabajo no añade valor

La distribución del tiempo de los 7 días que duró el estudio se muestran en la figura 4.10.



Promedio de Tiempo Productivo (TP)	48.9%
Promedio de Tiempo Contributorio (TC)	27.7%
Promedio de Tiempo No Contributorio (TNC)	23.4%

Figura 4.10 Gráfico de la descomposición del trabajo (elaboración propia)

Como se puede apreciar en la figura 4.10, los tiempos improductivos no son muy altos y de hecho son superados por los tiempos que si añaden valor (TP mayores a 40%), por lo que es muy probable que los malos resultados se deban a trabajos ineficientes, lo cual es más fácil de visualizar con un estudio de métodos; el formato utilizado para el estudio (adjunto en los anexos) no sólo permite realizar estudio de tiempos sino también graficar el Corsograma Analítico respectivo (ver tabla 4.18).

Tabla 4. 18 Cursograma analítico del nivelado y refinado (elaboración propia)

Equipo: Motoniveladora John Deere 670G Capa: Sub Base Granular
 Tramo: 88+860 - 89+060 Turno: Día
 Fecha: 22/06/2013

N°	DESCRIPCION	DIST (m)	TIEMPO (min)	○	⇨	D	□	▽
1	Charla de seguridad y llenado de ATS		15					
2	Calentamiento del motor		10					
3	Transporte al lugar de trabajo	600	5					
4	Espera por cisterna		20.3					
5	Toma posición para inicio	20	3.1					
6	Escarificado (con reeper)		7.2					
7	Conformación de capa		24.3					
8	Espera por brigada topográfica		13.2					
9	Plantillado topográfico		31.4					
10	Toma posición para inicio	20	2.8					
11	Nivelado (corte y relleno compensado)		42.3					
12	En espera por inspección		8.7					
13	Refinado		45.7					
14	En espera por inspección		5.3					
15	Transporte al siguiente tramo	700	4.9					
TOTAL		1340	239.2	4	4	4	3	

Aunque los tiempos y distancias dependerán del tramo que se ejecute y de su espesor, los pasos que se siguen están estandarizados en ambas cuadrillas de nivelado como se muestra en el resumen y el gráfico respectivo (ver figura 4.11 y tabla 4.19).

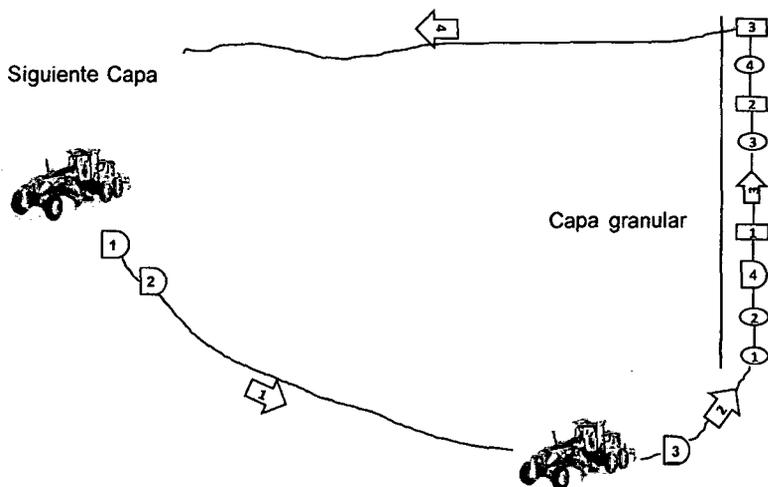


Figura 4.11 Resumen gráfico del estudio de métodos de la motoniveladora (elaboración propia)

Tabla 4.19 Resumen de Cursograma Analítico de nivelado y refinado (elaboración propia)

Actividad		Actual
Operación	○	4
Transporte	⇒	4
Espera	D	4
Inspección	□	3
Almacenamiento	▽	0
Distancia (m)		1340
Tiempo (min)		239.2

El escarificado forma parte del procedimiento constructivo estándar, con lo que se elimina gran parte del trabajo de nivelado que realiza la esparcidora y además no se aprovecha la energía de compactación inicial aumentando el número de pasadas de la motoniveladora y el rodillo. La acción de escarificar se consideró como trabajo productivo en el estudio de tiempos pero, al ser un re-trabajo, es la principal causante del trabajo ineficiente (ver figura 4.12).



Figura 4. 12 Escarificado de capa esparcida en su totalidad (fuente propia)

Además, se muestra una importante cantidad de esperas, las cuales se detallan a continuación en el gráfico de incidencias acumuladas de tiempos no contributorios (figura 4.13).

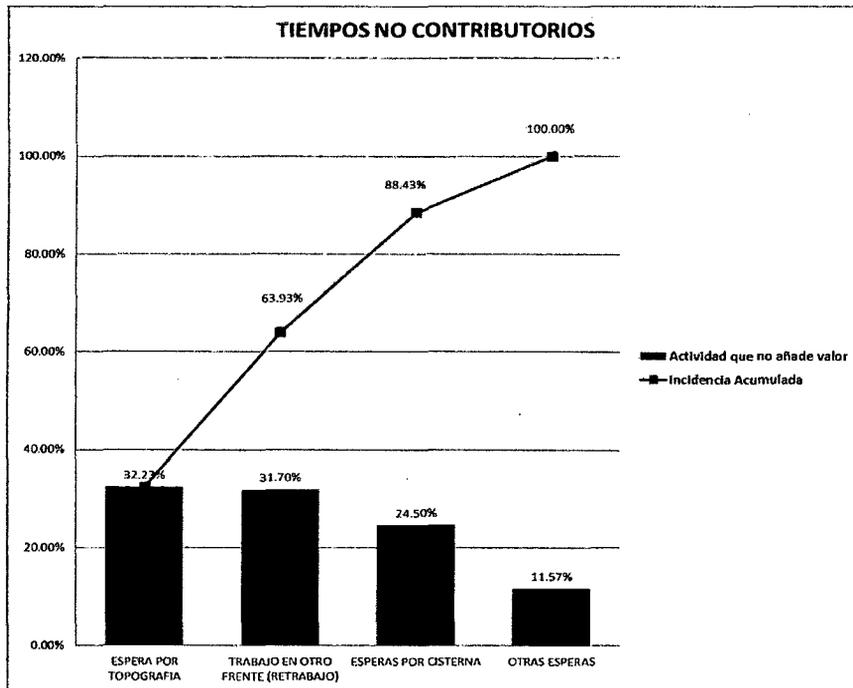


Figura 4.13 Incidencia del Trabajo No Contributorio (elaboración propia)

Las fuentes de tiempo improductivo poseen similar incidencia entre sí, resaltan esperas antes del inicio de la ejecución (de arranque) por la cisterna y al brigada topográfica, esto se da antes de iniciar cualquier nivelado pues la cuadrilla topográfica está ejecutando trabajos en frentes distantes y mientras se trasladan y plantillan se incurre en tiempos improductivos. Además es preocupante que exista un tiempo de re-trabajos, este se da por lo general debido a deterioros en las capas precedentes que son detectados por la cuadrilla de control de calidad, si no se corrigen esos deterioros no se podrá liberar la capa respectiva.

Los indicadores se calcularán de la misma manera que con el esparcido. La tabla 4.20 muestra el valor de dichos indicadores.

Tabla 4.20 Cálculo de indicadores TNCE y TEP - Nivelado (elaboración propia)

Porcentaje de Tiempo No Contributorio	TNC	23.4%
Tiempos Improductivos por falta de frente	TIF	0.0%

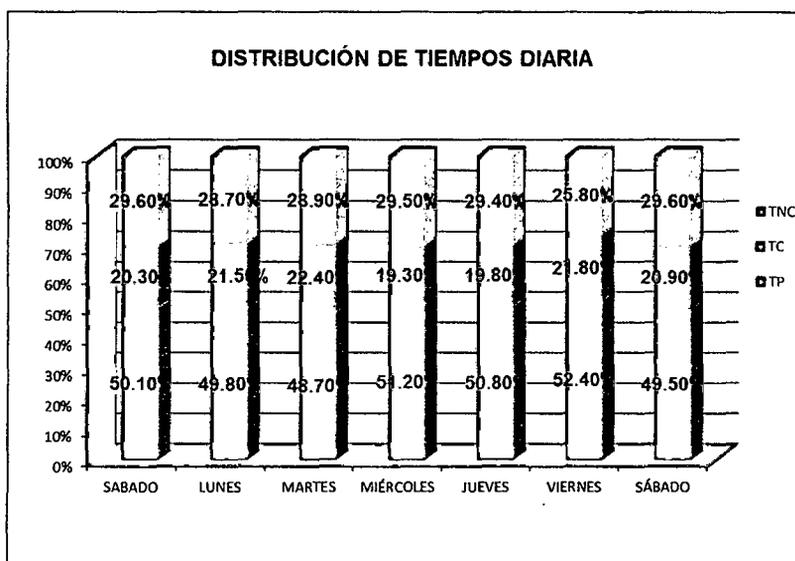
Compactación Final:

Finalmente se presentará los resultados correspondientes al estudio de los rodillos (tabla 4.21).

Tabla 4.21 Clasificación del trabajo (elaboración propia)

CLASE	ACTIVIDAD
TP	COMPACTACION VIBRATORIA
TC	ENCENDIDO DE MOTOR
	TRANSPORTE A ZONA DE TRABAJO
	INDICACIONES
	PLANTILLADO TOPOGRÁFICO
TNC	COMBUSTIBLE Y ENGRASE
	ESPERAS CISTERNA
	ESPERA POR TOPOGRAFIA
	TRABAJO EN OTRO FRENTE (RETRABAJO)
	OTRAS ESPERAS
	PARO (MOTOR APAGADO) FALLA MECÁNICA

En la figura 4.14 se muestra los resultados del estudio realizado en campo.



Porcentaje de Tiempo No Contributorio	TNC	28.8%
Tiempos Improductivos por falta de frente	TIF	0.0%

Figura 4.14 Gráfico de la descomposición del trabajo (elaboración propia)

Un punto importante a tomar en cuenta es el número de pasadas que se aplica a la capa para conseguir el grado de compactación requerido. Al respecto cabe mencionar que al inicio del proyecto fueron realizados diversos tramos de prueba con el objetivo de obtener un número de pasadas que sirva como referencia para los trabajos, que en promedio fue igual a 8 en Base y 10 en Sub Base. Sin embargo, esto no se cumple en la mayoría de casos en que se aplica al menos 3 pasadas más debido a que los operadores suelen aplicar más energía de compactación para asegurar que la capa cumplirá la especificación y aun a pesar de ello, como se notará más adelante, no se consigue del todo el grado deseado. También resulta interesante contrastar la diferencia en el número pasadas entre los rodillos Sakai y los 2 rodillos restantes, los primeros aplican en promedio 5 pasadas más en tramos similares. Esto indica que probablemente los rodillos Sakai no son los adecuados para este tipo de trabajos, lo cual se confirma con los problemas hallados de manera cualitativa mostrados en la tabla 4.8.

En la figura 4.15 se muestra el diagrama acumulado de los Trabajo Improductivos del rodillo, donde -al igual que con las motoniveladoras- el trabajo en otro frente tiene una alta incidencia como consecuencia de defectos en el nivel de compactación en otras capas que obliga a transportar con urgencia un rodillo al tramo donde se requiere mayor energía de compactación incrementando el tiempo de ejecución de las capas.

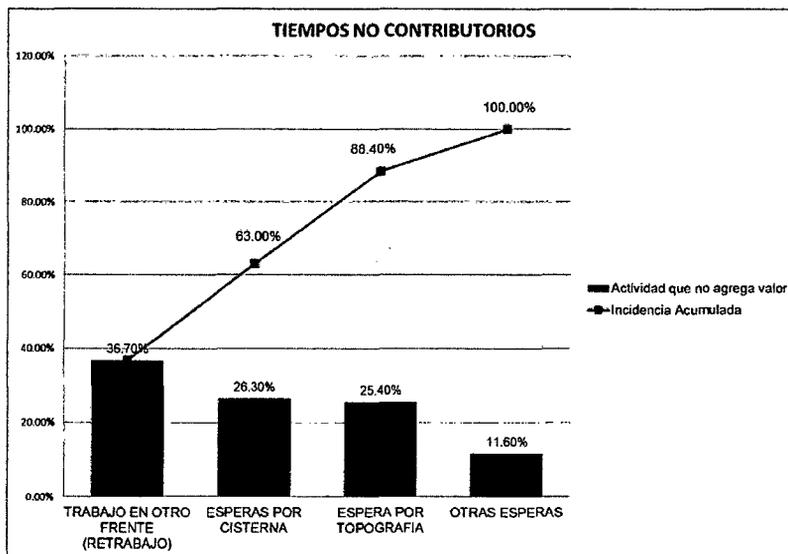


Figura 4.15 Incidencia del Trabajo No Contributivo (elaboración propia)

Los indicadores buscados se calculan de manera similar y se presentan en la tabla 4.22.

Tabla 4.22 Cálculo de indicadores TNCE y TEP - Compactación (elaboración propia)

Porcentaje de Tiempo No Contributorio	TNC	28.8%
Tiempos Improductivos por falta de frente	TIF	0.0%

4.4.3.4 Desabastecimiento de Material Granular (DESAB):

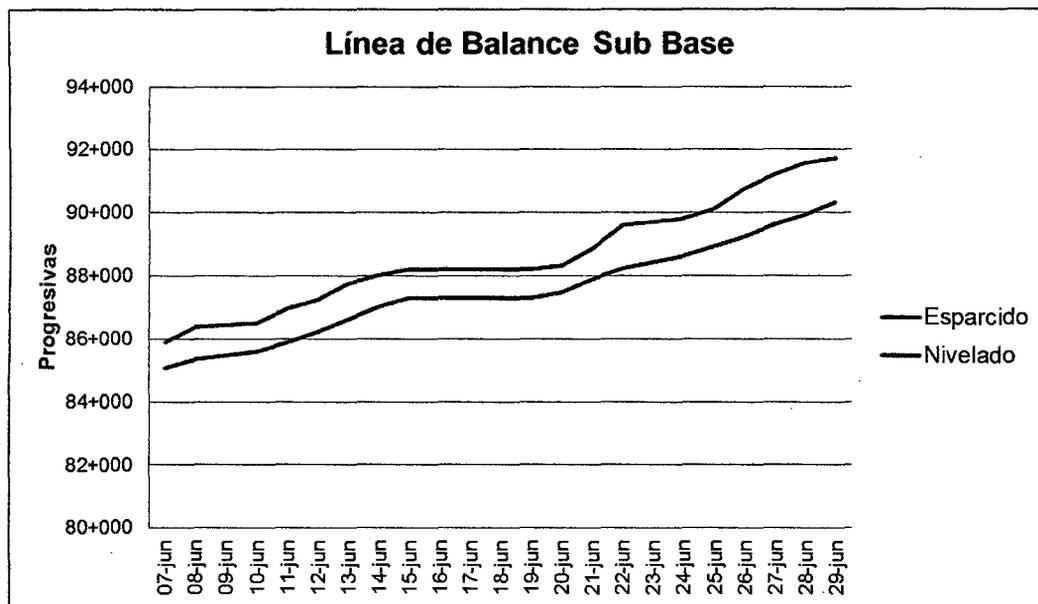
Se busca conocer los tiempos improductivos por jornada debido a la falta de volquetes con material granular en el frente de trabajo. El valor buscado se puede obtener del disgregado del Tiempo No Contributorio de la esparcidora (ver tabla 4.23), se recalca que el procesamiento de datos del estudio de tiempos se realizó de manera conjunta para ambas capas para facilitar el análisis y la presentación de resultados.

Tabla 4.23 Desabastecimiento de material - DESAB (elaboración propia)

Equipo	% del TNC	Tiempo aproximado por jornada (min)
Esparcidora	31.86%	69.6

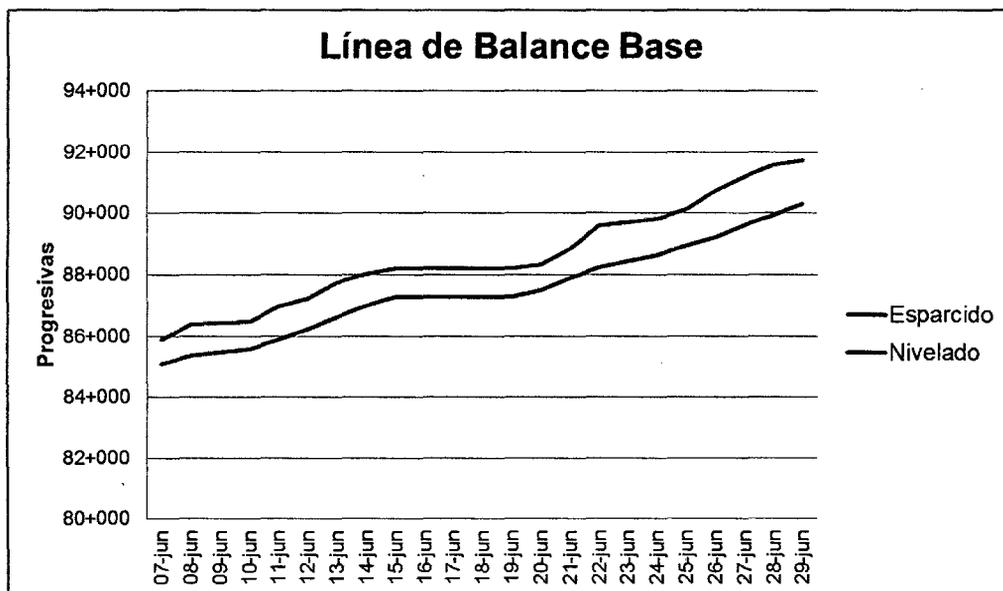
4.4.3.5 Inventarios (INV):

En manufactura, la cantidad de inventarios se calcula al término de cada jornada contando las piezas sin terminar entre un proceso y otro. En el caso de la construcción se trata de imitar esta idea mediante el empleo de líneas de balance (producción VS tiempo) que indiquen el ritmo de avance de las capas por cada una de las actividades (esparcido y refinado), así será factible calcular la longitud esparcida de base y sub base sin refinar al término de cada día. Las figuras 4.16 y 4.17 muestran las líneas de balance y el inventario promedio entre cada operación para las capas en estudio del 7 al 30 de junio del 2013 respectivamente.



Inventario Promedio (ml)	1116.0 m
---------------------------------	-----------------

Figura 4.16 Línea de balance - Sub Base granular (elaboración propia)



Inventario Promedio (ml)	794
---------------------------------	------------

Figura 4.17 Línea de balance - Base granular (elaboración propia)

De la misma manera se puede calcular el inventario que existe, ya no entre operaciones de esparcido y nivelado, sino entre ambas capas, esto será de utilidad al momento de graficar el mapa de flujo de valor (figura 4.18).

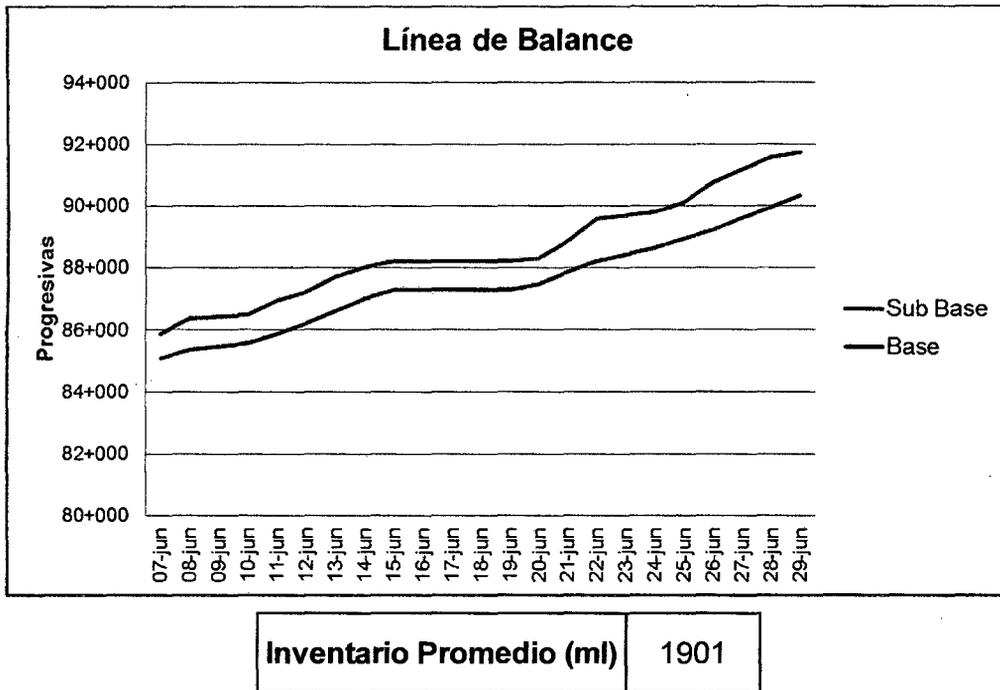


Figura 4.18 Línea de balance - Capas de Sub Base y Base (elaboración propia)

4.4.3.6 Tiempo de Inventarios (TI):

La idea detrás de este parámetro es cuantificar la cantidad de tiempo (en días) adicionales que se incurren debido a realizar trabajos con lotes de transferencia elevados. Es conocido que al disminuir los lotes de transferencia, el plazo total de ejecución se reduce (principio del tren de actividades). Para convertir los inventarios de trabajo en progreso a tiempo se utiliza la siguiente fórmula:

$$TI = \frac{\text{Cantidad de Inventario (und)}}{\text{Producción promedio obtenida } \left(\frac{\text{und}}{\text{tiempo}}\right)}$$

En el mapa de flujo de valor (MFV) que se dibujará se tiene 3 tipos de inventarios: 2 relativos a la diferencia de operaciones dentro de una capa y 1 entre capas. La tabla 4.24 muestra el cálculo de los TI, el promedio de avances diarios se utilizó como la "producción promedio", estos valores se mostrarán con mayor detalle más adelante.

Tabla 4.24 Tiempos de Inventario (elaboración propia)

Tipo de Inventario		Cantidad de Inventario (ml)	Demanda del cliente (ml/día)	TI (días)
Entre esparcido y Refinado	Sub Base	1160	324.7	3.6
	Base	794	290.6	2.7
Entre capas		1901	322.9	5.9

4.4.3.7 Desperdicio (DESP):

También se tomó en cuenta, aunque no se encuentra dentro del análisis de costo, la cantidad de desperdicio de material granular utilizada. Esto se puede monitorear en función de los porcentajes previstos en el presupuesto puesto que esta cantidad influirá también en el desempeño de otros procesos como la explotación de canteras y preparación del material.

Comparamos los registros de producción de material para Base y Sub Base de la planta dosificadora en el mes de Junio con la planilla de metrados del presupuesto, que es la cantidad que se reconocerá para la valorización considerando además las cantidades de desperdicio que cubre el presupuesto (7% teórico). La tabla 4.25 señala el desperdicio promedio obtenido en cada capa.

Tabla 4.25 Desperdicios de material granular (elaboración propia)

Capa	Desperdicio Promedio (%)	Desperdicio del presupuesto (%)	Exceso (%)
Sub Base	10.61	7.00	3.61
Base	9.33	7.00	2.33

Ambos valores promedio de desperdicio superan al considerado en el presupuesto (7%), pero no llegan a tener alta incidencia dado que el exceso de desperdicio es sólo de 2 a 3%, aunque esto no significa que no deba monitorearse constantemente este parámetro para evitar incrementos en el exceso de desperdicio.

4.4.3.8 Disponibilidad Mecánica (DM):

Para las motoniveladoras y rodillos, el indicador buscado será el promedio de las disponibilidades mecánicas de cada equipo.

Mientras que el Rodillo Sakai 25 y la Motoniveladora Jhon Deere 18 han tenido horas en el taller mecánico debido a problemas mecánicos, estos fueron a lo más 2 horas y no fueron ocasionaron paradas intempestivas durante por lo que no tuvo efectos considerables en las operaciones. Pero el caso de la Motoniveladora 16 (John Deere 670G) si es preocupante pues el tiempo que permaneció equivale a una jornada completa por lo que debe monitorearse con mayor énfasis su posterior desempeño a efectos de tomar las decisiones respectivas.

Tabla 4. 26 Disponibilidad Mecánica de equipos de pavimentación (adaptado del control mensual disponibilidad vs utilización del proyecto en junio 2013)

CODIGO	EQUIPO	PROPIETARIO	A LA FECHA	% DISP A LA FECHA	HORAS TALLER
Rodillos					
ROD-01	Rodillo Vibrat. Hamm 14.2 Ton (136HP)	Cosapi	28-Jun	100.00%	-
ROD-05	Rodillo Vibrat. Bomag 15 Ton (160 HP)	Cosapi	27-Jun	100.00%	-
ROD-20	Rodillo Sakai	CGM Rental	28-Jun	100.00%	-
ROD-25	Rodillo Sakai	CGM Rental	28-Jun	96.67%	2.00
Motoniveladoras					
MOT-16	Motoniveladora John Deere 670G	CGM Rental	28-Jun		10.00
MOT-18	Motoniveladora John Deere 670G	CGM Rental	28-Jun	99.33%	0.40
Esparcidora					
47005003	Pavimentadora de Asfalto BlawKnox	Cosapi	28-Jun	100.00%	-

4.4.3.9 Tiempo de Ciclo (CT) y de valor agregado (TVA)

Mediante estos indicadores será posible conocer el tiempo aproximado que se requerirá para la ejecución de las 2 capas granulares en un cierto tramo y además la cantidad de este tiempo en que el valor es agregado al producto, lo cual puede dar una idea del desempeño del proceso en su conjunto y ya no sólo de operaciones individuales. Esto se realiza gráficamente en el Mapa de Flujo de Valor (MFV) donde los tiempos de las operaciones de conversión serán los que agregan valor y los tiempos de inventarios (TI) al ser tiempos muertos en que el entregable está propenso a deteriorarse se consideran como tiempos que no añaden valor.

En las fábricas es sencillo calcular el tiempo que toma realizar un producto pues sus límites son fijos y es fácil de observar, mientras que en la construcción de carreteras los tramos no son uniformes y los tiempos están sometidos a mucha variabilidad. Por ello, en esta parte se considera de manera general el tiempo de cada operación (1 guardia para esparcido y 1 para refinado). La figura 4.19 muestra los valores correspondientes para el proceso constructivo en estudio. Cabe indicar

que el tiempo que las capas demoran en ser liberadas se consideraron dentro de los tiempos de inventario.

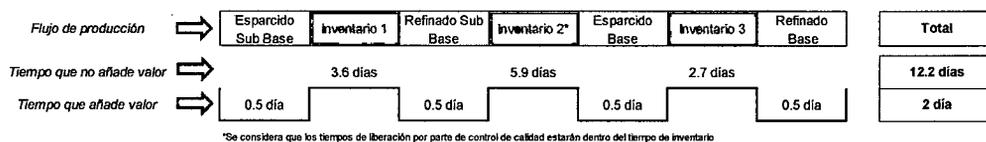


Figura 4.19 Representación gráfica de tiempos en el flujo de producción (elaboración propia)

Como se puede observar la mayor parte del tiempo las capas se encuentran esperando en inventario para ser procesadas, los valores finales se operan en términos porcentuales, cuyo resultado se resume en la tabla 4.27

Tabla 4.27 Tiempo de Ciclo - CT (elaboración propia)

Tiempo de Ciclo (CT)	14.2 días
Tiempo de valor agregado (TVA)	2 días
Porcentaje de valor agregado (PVA)	14.08%

De acuerdo a la tabla, sólo durante el 17% del tiempo se añade valor al producto en el flujo de producción, esto sin considerar la cantidad de tiempo improductivo que existe durante las propias operaciones puesto que el objetivo en esta parte es mostrar cuanto tiempo se podría ganar al reducir los lotes de transferencia, ya en el estudio del trabajo se observó las pérdidas en cada operación.

4.4.3.10 Producción promedio (PP) y variabilidad de producción:

Mediante el tratamiento estadístico de los registros de producción diario se obtienen los valores buscados, la tabla 4.28 y 4.29 muestra los resultados para cada una de las operaciones por capa (la fuente de información se adjunta en los anexos):

Tabla 4.28 Producción promedio - Sub Base granular (elaboración propia)

Operación	Producción Promedio	Desviación estándar	Coefficiente de dispersión
Esparcido	365.9	188.2	51.4%
Nivelado	324.7	62.7	19.3%

Tabla 4.29 Producción promedio - Base granular (elaboración propia)

Operación	Producción Promedio	Desviación estándar	Coefficiente de dispersión
Esparcido	322.9	155.9	48.3%
Nivelado	290.6	58.79	20.2%

El valor del coeficiente de dispersión se puede interpretar como la medida del grado de homogeneidad de un grupo de datos, en este caso los valores altos (rangos mayores al 50%) indican que existe alto grado de variabilidad en la producción diaria.

4.4.3.11 Porcentaje de Plan Cumplido diario (PPC)

Mediante este indicador se pretende determinar el grado de cumplimiento de las metas diarias de producción, se optó por un análisis diario y no semanal como suele hacerse para obtener un control más detallado. La tabla 4.30 muestra los resultados hallados:

Tabla 4.30 Porcentaje del plan cumplido diario (elaboración propia)

	Sub Base Esparcido	Sub Base Nivelado	Base Esparcido	Base Esparcido
Días en que se superó el avance meta	9	6	5	2
Días en que no se superó el avance meta	11	14	15	18
Porcentaje de Plan Cumplido (PPC) mensual	45.0%	30.0%	25.0%	10.0%

Es fácil notar que el esparcido tiene mayor nivel de cumplimiento que el proceso siguiente (nivelado y refinado), esta diferencia se acentúa para la capa de Base Granular en donde la cuadrilla de nivelado apenas superó en 2 días la meta indicada.

4.4.3.12 Tiempo de No-Calidad (NQT) y Análisis de la calidad

La calidad de los entregables se mide según el cumplimiento de los requisitos mostrados en la matriz de calidad, que no es más que la unión de todas las especificaciones técnicas del contrato. La tabla 4.31 indica todas las exigencias de calidad exigidas en el proyecto, las 3 últimas (resaltadas en naranja) no son parte de la matriz original (incluida en el plan de gestión del proyecto) ya que no requieren ensayos especializados pero se incluyen pues son requisitos de las EETT contractuales y su incumplimiento originará re trabajos.

- ✓ **Artículo 303.09 de las EETT:** “No se extenderá ninguna capa de material de subbase mientras no haya sido realizada la nivelación y comprobación del grado de compactación de la capa precedente. Tampoco se ejecutará la subbase granular en momentos en que haya lluvia, ni cuando la temperatura ambiente sea inferior a dos grados Celsius (2 °C).”
- ✓ **Artículo 303.11 de las EETT:** “Si después de aceptada la subbase granular, el Contratista demora por cualquier motivo la construcción de la capa inmediatamente superior, deberá reparar, a su costo, todos los daños en la subbase y restablecer el mismo estado en que se aceptó.”
- ✓ **Artículo 303.12 de las EETT:** “Que la cota de cualquier punto de la subbase conformada y compactada, no varíe en más de diez milímetros (10 mm) de la cota proyectada”
- ✓ **Artículo 303.12 de las EETT:** “Todas las irregularidades que excedan las tolerancias mencionadas, así como las áreas en donde la subbase presente agrietamientos o segregaciones, deberán ser corregidas por el Contratista, a su costo, y a plena satisfacción del Supervisor”

Tabla 4.31 Matriz de Calidad (elaboración propia)

Matriz de Calidad											
Fase: Pavimentos				Proctor Modificado	Densidad In situ - Método Nuclear	Densidad In situ - Cono de arena	Control de Lisura	Evaluación Estructural con Viga Benkelman	Segregación del material	Deterioro de la capa	% de Saturación
Proceso: Sub Base y Base											
Semana	Fecha	PI	PF								

Se detallan algunos defectos mencionados:

- ✓ **Segregación:** La segregación consiste en las capas inferiores del pavimento se visualiza cuando el agregado grueso se concentra en algunas zonas del tramo ejecutado y el fino en otras distintas. La mezcla, al perder uniformidad, ya no posee todas las propiedades física que se esperan y su resistencia será menor (ver figura 4.20)



Figura 4. 20 Imagen de tramo con problemas de Segregación (fuente propia)

✓ **Saturación y deterioro de las capas:** Este es el resultado de precipitaciones en el lugar de trabajo lo cual deteriora la conformación de capas y el material se vuelve poco trabajable. La saturación es la principal fuente de deterioro de capas (ver figura 4.21)



Figura 4. 21 Capa de Sub Base deteriorada por condiciones climáticas (fuente propia)

Según el artículo 303.09 de las EETT para Sub Base no se puede ejecutar ninguna capa hasta que la inmediatamente inferior haya cumplido todos los requisitos de la matriz mostrada en la tabla 4.34. Por consiguiente, si existen defectos no se podrá liberar las capas y por lo tanto la longitud que la cuadrilla siguiente ejecutará disminuye, lo que generará tiempos improductivos por falta de frente. Para ilustrar como se manifiestan los problemas de calidad se muestran a continuación 2 gráficos que señalan la longitud de tramos liberados en comparación con la distancia meta por capa (ver figuras 4.22 y 4.23) y posteriormente el indicador seleccionado (Tiempo de No-Calidad).

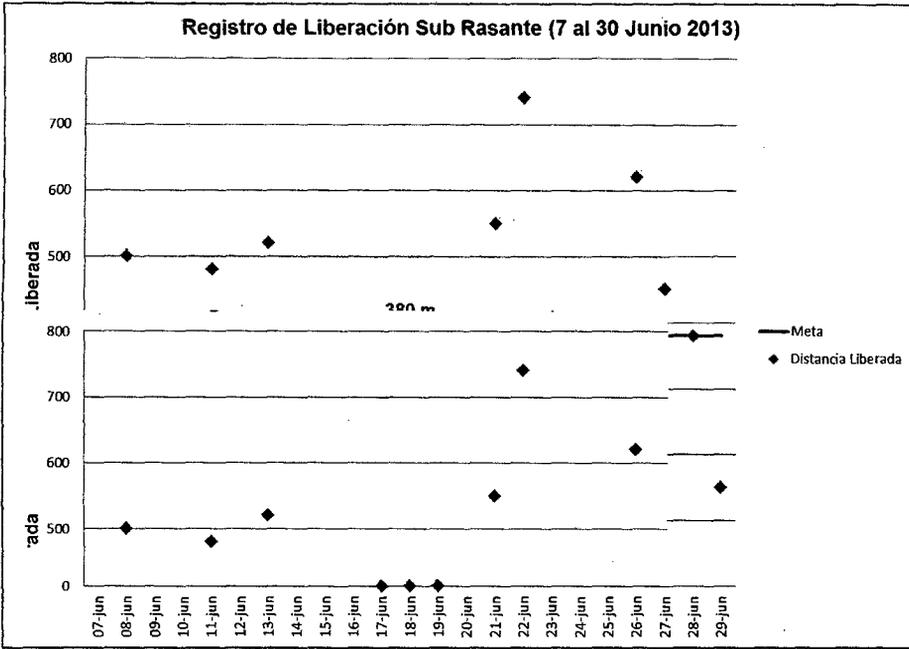


Figura 4.22 Registro de distancia liberada de Sub Rasante (elaboración propia)

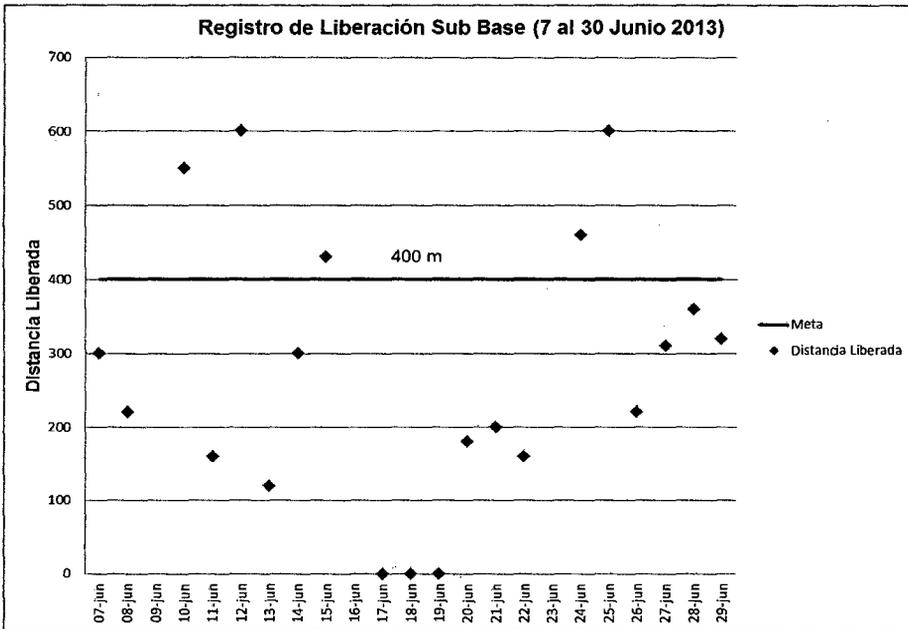


Figura 4.23 Registro de distancia liberada de Sub Base (elaboración propia)

Ambas figuras presentan mucha dispersión de datos que en su mayoría se encuentran por debajo del meta, lo cual confirma la existencia de variabilidad en la longitud de liberación de frentes. En el gráfico 4.22 se observa la distancia liberada de sub rasante -que será la cantidad de frente que dispondrá la cuadrilla de Sub

Base-, si este longitud es menor al meta (613 m³ o 380 ml) entonces por muy efectiva que dicha la cuadrilla de esparcido sea no se conseguirán los objetivos.

Lo mismo y con mayor nivel de intensidad sucede con la liberación de Base, de todas las distancias liberadas sólo 5 superan la meta, presumiblemente por los requisitos de calidad más exigentes que en la capa inferior. La variabilidad de producción mencionada se complementa con el indicador de producción promedio de 4.4.3.11, en donde el alto valor del coeficiente de dispersión indicaba que los valores no eran homogéneos.

El indicador relacionado a problemas de calidad es la cantidad de tiempos debido a re trabajos por corrección de defectos, deterioro y por escarificado de la capa (se le consideró como re-trabajo), estos se obtuvieron del estudio del trabajo y se muestran en la tabla 4.32.

Tabla 4.32 Tiempos de No Calidad - NQT (elaboración propia)

Equipo	Re-trabajos (min)		Tiempo aproximado por jornada (min)
	Deterioro y defectos	Escarificado	
Motoniveladora	31.0	34.8	65.8
Rodillo	57.1	34.8*	91.9

* Se considera que el tiempo de conformación hasta que la capa queda lista para plantillarse

4.4.3.13 Mapa de Flujo de Valor (MFV)- Estado Actual

Una vez calculados los indicadores se puede graficar el mapa del flujo de valor respectivo. La figura 4.24 muestra el Mapa de Flujo de Valor actual, las pérdidas y problemas detectados se resaltan en rojo, cabe indicar que se utilizó el software VIZIO para el gráfico.

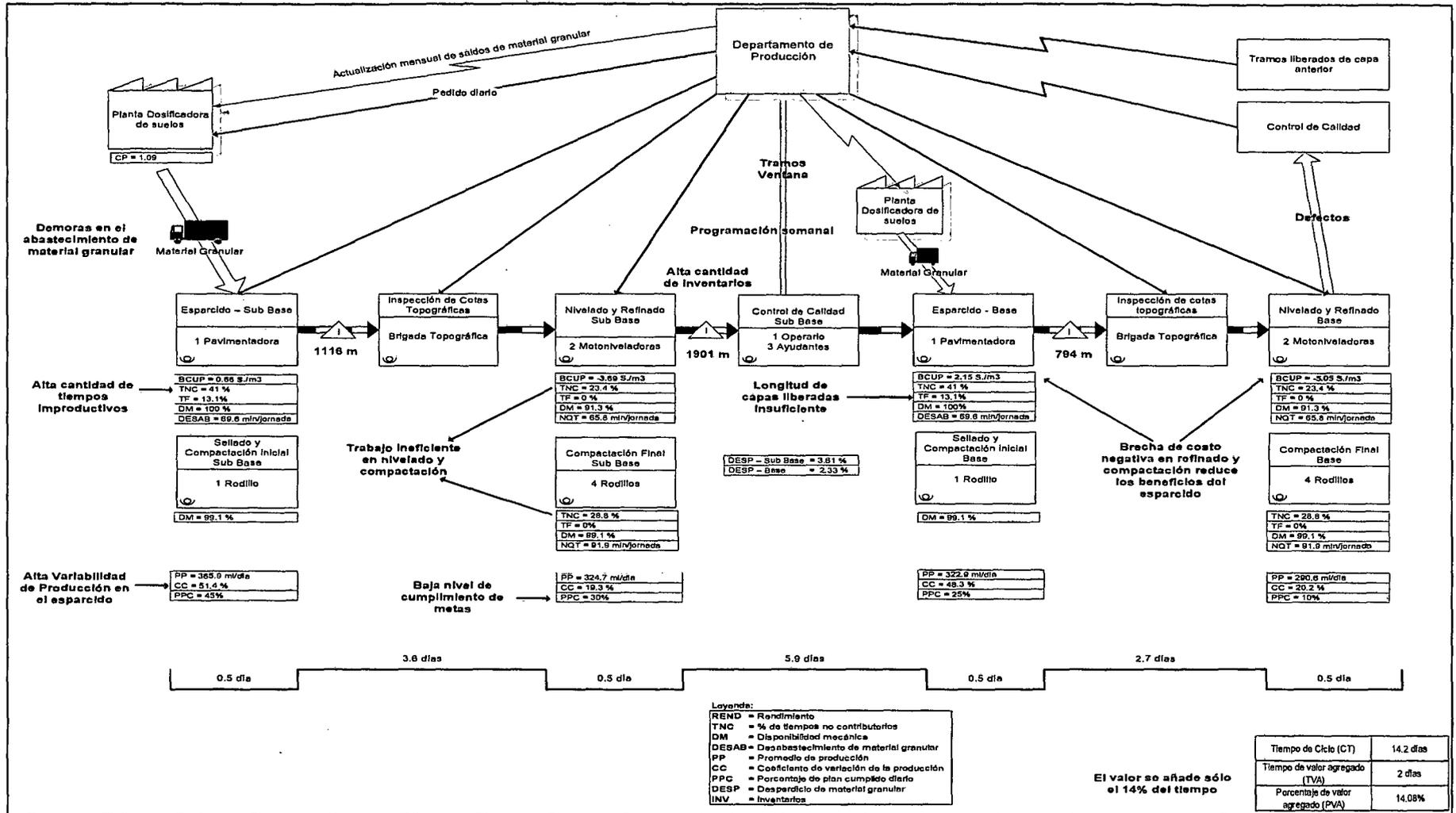


Figura 4.24 Mapa de Flujo de Valor - Estado Actual (elaboración propia)

4.5 EVALUACION

4.5.1 Discusión de resultados

El Mapa de Flujo de Valor (MFV) mostrado en las figuras 4.25 es de mucha utilidad para comprender el estado actual tanto a nivel de operación (rendimientos, tiempos improductivos), a nivel de flujos (inventarios, abastecimiento de materiales) y a nivel organizacional (calidad, planeamiento). A continuación se presenta un resumen de las principales dificultades y pérdidas encontradas:

Alta variabilidad de producción: Durante las fechas que duró el estudio se observó que la producción diaria tenía gran variabilidad, por ejemplo el esparcido de Base podía llegar a producir hasta 500 m en una noche pero a los pocos días sólo obtenía 100 m -sin considerar condiciones climáticas adversas u otros factores externos- sino que se estaba condicionado al ritmo de liberación de la capa anterior, este era un problema muy común en el esparcido (el coeficiente de variación de es aproximadamente 50%) que generaba tiempos improductivos por falta de frente de trabajo. La variabilidad de producción es una la fuente de mayores problemas no sólo en estos procesos sino en la construcción en general.

Brecha de costo negativa del nivelado y refinado: Las brechas de costos del nivelado y refinado en ambas capas son negativas en comparación con los del esparcido lo cual reduce los beneficios de utilizar un nuevo método constructivo, es evidente que las operaciones se realizan de manera ineficiente lo cual repercute en la productividad del proceso.

Deficiencias en el planeamiento: Era común observar tramos que se dejan de lado intencionalmente porque alguna restricción del mismo no se superó (conocidos como "tramos ventana"). Por ejemplo, hubo hasta 600 m de capa de sub base que no se ejecutó en el mes de Junio porque aún no se habían terminado las obras de arte correspondientes (muro de contención de concreto reforzado) y estos a su vez porque no se dispuso de encofrados a tiempo. Un minucioso análisis de las programaciones Look Ahead tanto del departamento de Pavimentos, de Obras de Arte y de Plantas Industriales encontró que eran constantes los tramos (sobre todo en la 2da y tercera semana) donde los 2 primeros planeaban ejecutar sus obras en el mismo lugar y al mismo tiempo y además no tomaban en cuenta otras

restricciones como falta de personal y materiales. Esta falta de coordinación y planificación a largo plazo estaba generando casos como el de los tramos ventana que luego desencadenarán en pérdidas por excesivo transporte.

Bajo nivel de cumplimiento de metas: Los problemas descritos líneas arriba y otros de menor incidencia estaban finalmente afectando el grado de cumplimiento de metas e hitos contractuales. El indicador PPC (diario) indica que a lo más el 45% del tiempo se cumplía con la meta, este problema se intensifica en la capa de Base muy probablemente por los mayores requisitos de calidad que en capas anteriores.

Deficiencias en la gestión y coordinación de las operaciones en campo: Se obtuvieron valores de TNP del orden del 35-40% cuyo principal componente son las esperas por la cuadrilla de topografía, falta de herramientas y/o luminarias (turno noche), interferencias con vehículos entre otros. Es importante mencionar el tiempo promedio de espera por material durante el esparcido, cuyo valor en promedio es alto (casi 1 hora en espera). Durante el estudio diversos integrantes de la cuadrilla se quejaban de que la cantidad de volquetes que la planta escogía no era la suficiente para la progresiva a la que se encontraban y que el pull no se redimensionaba sino hasta que ya las esperas eran muy notorias.

Defectos: Existían problemas como la segregación, deterioro de las capas por condiciones ambientales, niveles por encima de las tolerancias y sobre todo deficiencias en la compactación. Al respecto se observó durante la toma de datos en campo que en repetidas ocasiones los equipos de conformación y compactación debían transportarse a otro frente a corregir los defectos encontrados que impedía levantar un tramo determinado lo cual les tomaban en promedio 1 hora por cada jornada con sus sobrecostos inherentes y lo que además impedía estandarizar longitudes de capas liberadas.

Excesivo inventario de trabajo en progreso: Al tener lotes de transferencia muy grandes (entre operaciones y entre capas), se está incrementando el tiempo total de ejecución, además las capas se exponen a deterioro por condiciones ambientales, se generan sobrecostos por acelerar los trabajos y las cuadrilla se sienten abrumadas al tener tanto trabajo pendiente. Sin embargo, es importante mencionar que aun a pesar que la filosofía Lean considera como pérdidas a todos los tipos de inventario, en proyectos lineales como una carretera no es factible

prescindir completamente de los mismos ya que estos suelen funcionar como “buffers” que amortiguan la variabilidad entre procesos.

Otros: También se puede añadir algunos problemas localizados de desperdicio excesivo de material sobretodo en tramos con gran peralte y una motoniveladora con baja disponibilidad mecánica.

Es necesario jerarquizar los problemas más importantes de todos los mostrados para proceder con la identificación de causas raíz. Los problemas referidos a la **variabilidad de producción** producto de la falta de estandarización en la liberación de capas y el **bajo rendimiento de los equipos de nivelado y compactación** son los más impactantes ya que su influencia sobre el control es directa y además originan otros problemas.

4.5.2 Identificación de Causas Raíz

Los problemas identificados son la fuente de la baja productividad, sobrecostos y atrasos en el cronograma, cada uno de los cuales es producto de uno o de la combinación de varios factores (causas raíz) de diversa índole. El objetivo en esta parte del ciclo es evaluar minuciosamente cada problema para así determinar las causas raíz y enfocar todos los esfuerzos del equipo del proyecto en mitigarlos o si es posible eliminarlos. Las herramientas de evaluación árbol de causas, causa efecto y los 5 ¿por qué? Serán utilizadas en esta etapa, para facilitar el análisis, las posibles causas se agruparán en las siguientes categorías:

- ✓ Metodología de Trabajo
- ✓ Maquinaria
- ✓ Mano de Obra
- ✓ Gestión del proyecto
- ✓ Entorno
- ✓ Materiales
- ✓ Contrato (relativo a las EETT, el diseño y el presupuesto oferta)
- ✓ Metodología de medición

4.5.2.1 Variabilidad de Producción

Se presenta a continuación el diagrama árbol de causas para el problema en estudio (figura 4.25):

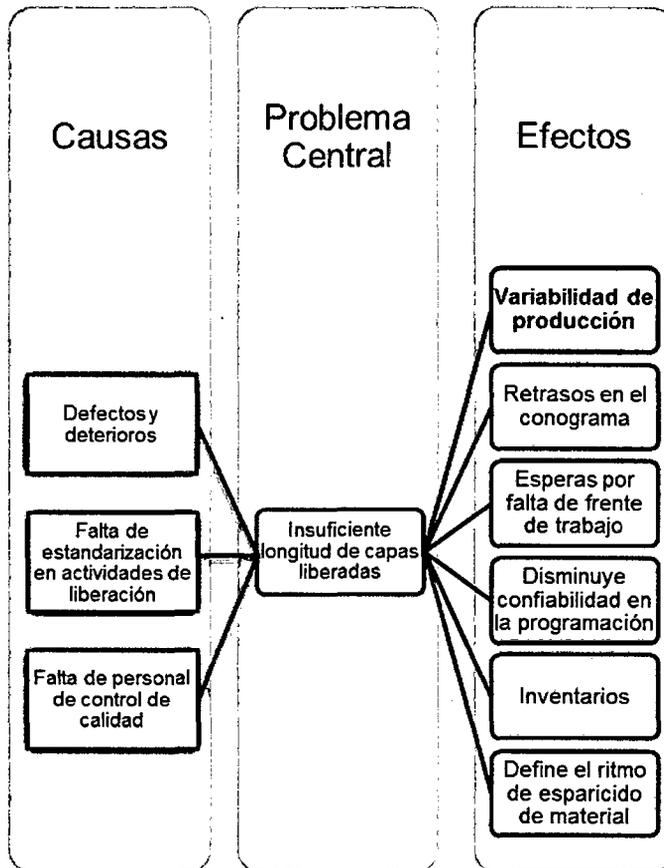


Figura 4.25 Diagrama Árbol de causas (elaboración propia)

El análisis permitió identificar que la “variabilidad de producción” era sólo uno de los síntomas de un problema más complejo que involucraba distintas causas, lo que se evidenciaba durante las reuniones semanales en donde los ingenieros de campo, de control y el propio gerente de proyecto coincidieron que era el problema que causaba mayor dificultad pues condiciona el ritmo del esparcido. Sin embargo, el personal de calidad acusó que, mientras si era cierto que necesitaban aumentar su capacidad para realizar ensayos en las capas puesto que no se abastecían para todos los frentes, también eran común que no se liberara toda la distancia requerida por la existencia de tramos con defectos (sobre todo por niveles de compactación deficientes y segregación) y deterioro por excesivo tiempo de exposición de las capas. Además las esperas por corrección de defectos les hacían perder mucho

tiempo, estos defectos no son de su entera responsabilidad pues involucran también a producción, entonces las propuestas de mejora deben tomar en cuenta no sólo proporcionar mayores recursos al control de calidad, sino brindar mayor énfasis en el aseguramiento de la calidad durante el propio proceso y reducir los tiempos de entrega para disminuir el tiempo de exposición de las capas. Para ello, se debe determinar las causas que generan productos defectuosos. Las figuras 4.26 muestra el diagrama de Ishikawa para la segregación de capas granulares.

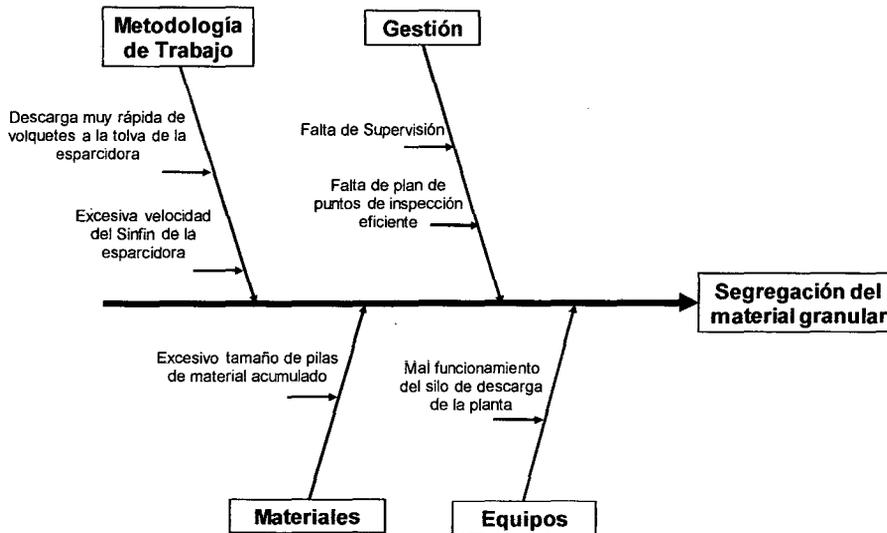


Figura 4.26 Diagrama Causa Efecto – Segregación (elaboración propia)

A continuación, la figura 4.27 muestra el diagrama de Ishikawa para las capas con grado de compactación menor al especificado.

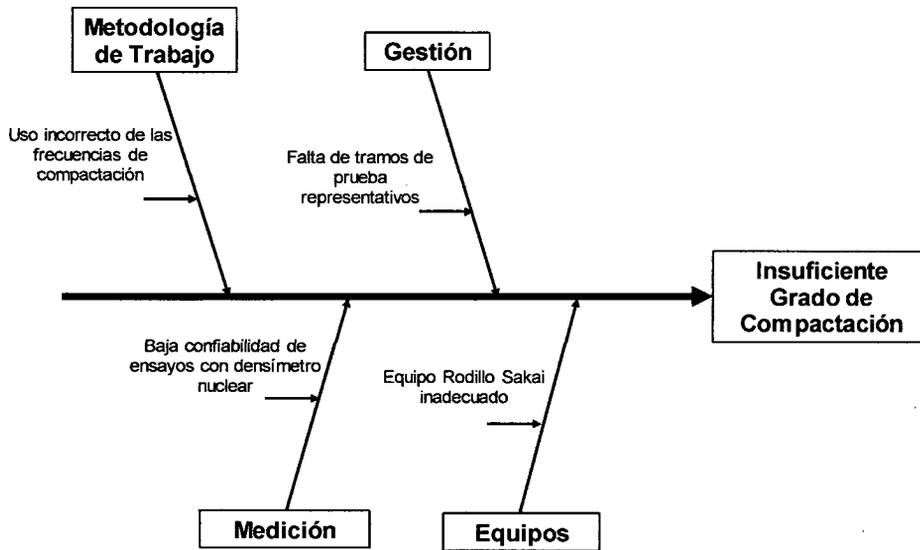


Figura 4. 27 Diagrama Causa Efecto – Insuficiente Grado de Compactación (elaboración propia)

Las causas halladas deben corregirse mediante la corrección y actualización de los procedimientos de calidad del proyecto, lo cual se detallará más adelante.

4.5.2.2 *Bajo rendimiento de los equipos de nivelado y compactación*

De igual manera se presentan en las figuras 4.28 y 4.29 los diagramas de Ishikawa para el problema del bajo rendimiento de los equipos.

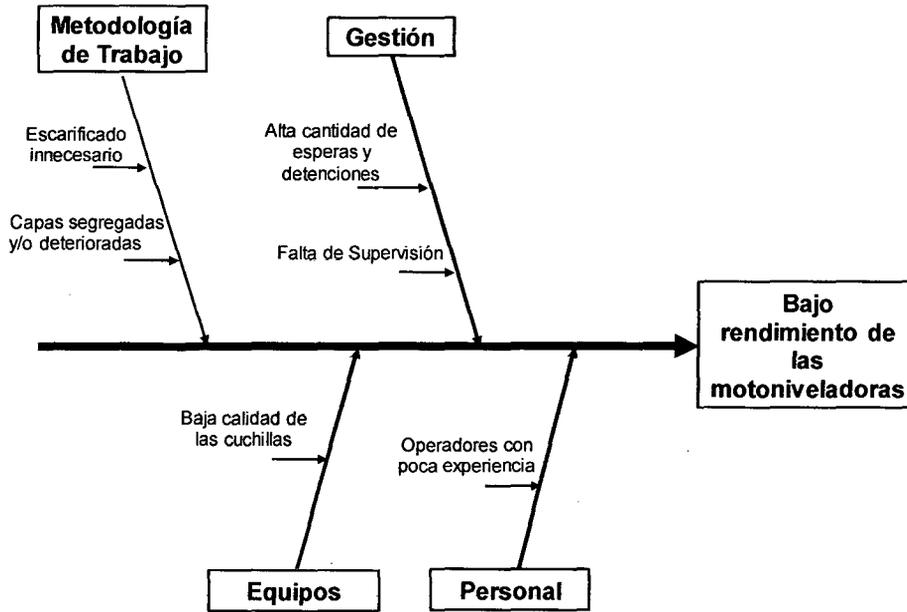


Figura 4.28 Diagrama Causa Efecto – Bajo Rendimiento de las Motoniveladoras (elaboración propia)

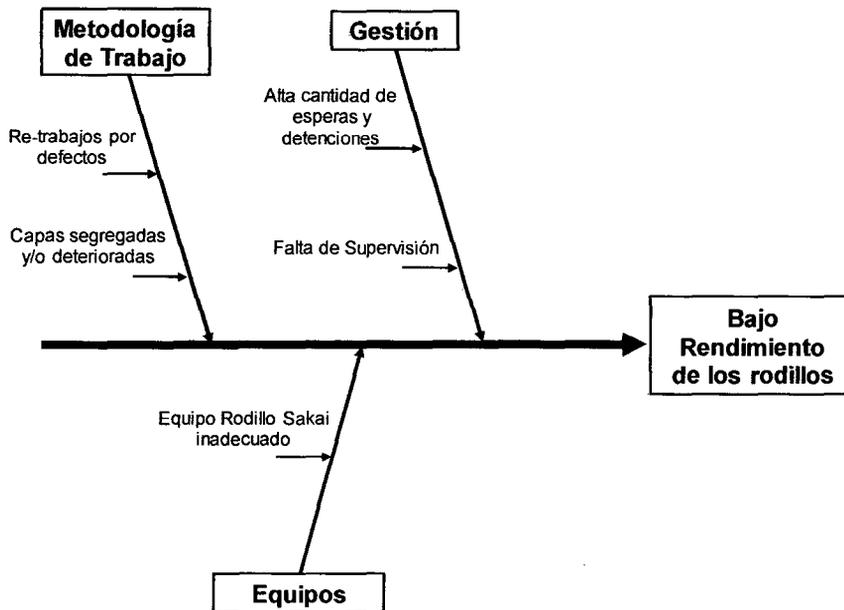


Figura 4.29 Diagrama Causa Efecto – Bajo Rendimiento de los rodillos (elaboración propia)

Una vez modelado el flujo de producción y detectadas las pérdidas y problemas que lo afectan, se deberá analizar también el estado actual de la tecnología de construcción con el objetivo de identificar oportunidades de mejora mediante innovación tecnológica.

CAPITULO V: PROPUESTA DE MEJORA CONTINUA

5.1 INTERVENCIÓN

Jerarquizados los problemas más importantes y conocidos las causas raíz que originan los mismos, las propuestas de mejora se fundamentan en cumplir con 3 principios fundamentales del Lean Construction; Asegurar el flujo, obtener flujos eficientes y obtener procesos eficientes.

5.1.1 Aseguramiento del flujo:

Cada detención del flujo de producción trae como resultado tiempos improductivos, que se reflejan en el estudio de productividad como esperas y/o demoras. Aunque ya de por sí los activos en construcción son muy costosos y una para de producción incrementa el plazo estipulado, la naturaleza de los contratos de arrendamiento de los mismos y la cantidad fija de horas de los obreros incrementa la sensibilidad del control de productividad a adoptar tendencias negativas. Hay que destacar que todos los equipos se adquirieron mediante la modalidad alquiler y por lo tanto estaban sujetos a cláusulas que exigían costos por horas mínimas.

El principal problema en contra de un flujo continuo era la variabilidad en la liberación de capas inferiores, ya que las actividades de esparcido se realizaban de noche si no se contaba con la longitud adecuada se tenía que parar necesariamente. Según el diagrama árbol de causas este problema era debido a defectos (incluye deterioros) y la falta de recursos del personal de control de calidad que generaban el retraso en la liberación de frentes. Otro problema encontrado fueron los tramos "ventana" producto de la falta de identificación de restricciones a tiempo. Entonces, se propone planes de mejora que incluyen medidas tanto a nivel de gestión como a nivel operativo (ver figura 5.1).

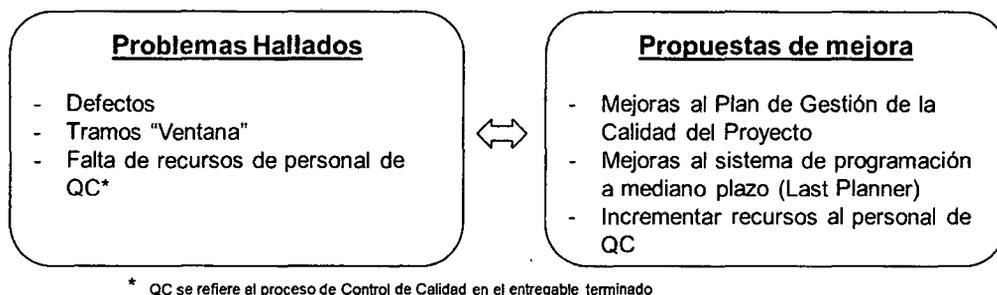


Figura 5.1 Asegurar el flujo - Problemas hallados y propuesta de mejora (elaboración propia)

5.1.1.1 Mejoras al Plan de Gestión de la Calidad

La segregación, la falta de eficacia al compactar y el deterioro de las capas son los principales defectos, lo cual también está vinculado con pérdidas por trabajo ineficiente, en ese sentido Lean Construction prioriza la eliminación de defectos en la calidad dentro del proceso y no sólo el control del producto terminado. Estos problemas son evidencia de que el sistema de gestión de calidad en el proyecto no está funcionando bien y necesitará evaluarse los motivos que puedan existir ya sea a nivel metodológico o a nivel aplicativo.

El plan de mejora en este nivel se basa en aplicar acciones correctivas a los problemas hallados en los diagramas de Ishikawa 4.26 y 4.27, el incluye el reemplazo de los 2 rodillos Sakai que no estaban generando ninguna ventaja operativa, sino que por el contrario aumentaban la probabilidad de ejecutar los tramos con defectos. También se sugiere estandarizar el uso de cuerdas para verificar el nivel terminado y evitar defectos en el control de la lisura ya que a simple vista es muy difícil (esto puede considerarse como un Poka Yoke u operaciones a prueba de fallas). Además, se recomienda incluir nuevos puntos de inspección con pasos específicos adicionales para prevenir la segregación. La tabla 4.36 relaciona los problemas hallados, las variables del sistema de gestión de la calidad asociadas y las acciones correctivas propuestas. Como toda mejora requiere tener objetivos claros y parámetros que permitan hacerle seguimiento se incluyen una columna con los resultados propuestos.

Tabla 5.1 Defectos vs Acciones Correctivas (elaboración propia)

DEFECTO ENCONTRADO	CAUSAS RAIZ	VARIABLE - CLAUSULA - HERRAMIENTA DEL SGC RELACIONADA	ACCION CORRECTIVA	OBJETIVOS Y METRICAS ASOCIADAS
Segregación de material luego del esparcido	Procedimientos operativos deficientes (descarga de volquetes, velocidad del símfín, etc.)	Procedimientos constructivos, Plan de Puntos de Inspección (PPI) y plan de capacitación del personal	Mayor detalle de actividades, inclusión de nuevos Puntos de Inspección y capacitación al personal	Eliminación de tiempos improductivos por retrabajos, es decir cero defectos (Tiempo de No Calidad = 0 min) Emisión de nuevos procedimientos para Base y Sub Base (procedimientos críticos) HH de capacitación en los nuevos estándares: 0.5 HH
	Falta de estandarización en la formación de pilas de agregados	Procedimientos constructivos, Plan de Puntos de Inspección (PPI) y plan de capacitación del personal	Mayor detalle de actividades, inclusión de nuevos Puntos de Inspección y capacitación al personal	
	No se realizó el mantenimiento del silo de descarga a tiempo	Gestión de equipos de producción directa	Mejorar coordinación con encargados de planta para el respectivo mantenimiento	
Grado de compactación inferior al requerido	Mala selección de equipos de construcción (Rodillo Sakai no es el adecuado)	Gestión de adquisiciones (procura)	Realizar adquisiciones de equipos en coordinación con producción	HH de capacitación en los nuevos estándares: 0.5 HH
	Falta de tramos de prueba representativos	Planeamiento de la Calidad	Ejecutar tramos de prueba con los nuevos rodillos en condiciones más reales para determinar un número de pasadas referencial	
	Calibración del densímetro nuclear (baja confiabilidad de resultados)	Gestión de equipos IME	Calibración y comparación de resultados con cono de arena en Base	
	Falta de supervisión (frecuencias de compactación mal usadas)	Procedimientos constructivos	Capacitación del personal y mayor supervisión en campo	
Deterioro de las capas	Excesivo tiempo de exposición de las capas	Procedimientos constructivos	Esto se tratará con mayor detalle en el tópico "Mujos eficientes"	

Las medidas señaladas en la tabla 5.1 abarcan diversos aspectos del plan de gestión de calidad del proyecto pero de manera genérica, para una eficaz implementación se debe profundizar en el detalle de cada acción correctiva. Las tablas 5.2, 5.3 y 5.4 que se muestran a continuación describen cada una de las acciones incluyendo la descripción, los potenciales beneficios y de manera cualitativa costos de calidad adicionales a incurrir (no se realizó el cálculo pues estos son difíciles de calcular y no serían muy representativos).

Tabla 5.2 Acciones correctivas para evitar la segregación (elaboración propia)

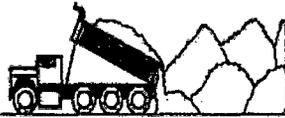
DEFECTO ENCONTRADO	ACCION CORRECTIVA	SUGERENCIAS DEL LEAN CONSTRUCTION	COSTOS DE CALIDAD ADICIONALES
Segregación de material luego del esparcido	Mayor detalle de actividades a seguir en el procedimiento, nuevos PPJ, capacitación al personal y mejorar las condiciones de almacenamiento	<ul style="list-style-type: none"> Se debe mejorar las prácticas de calidad en el proceso, pues se reporta y registra sólo el producto final Los procedimientos son muy generales, se debería dar mayor énfasis a problemas específicos de cada proyecto en particular 	<ul style="list-style-type: none"> Existirán mayores costo en la conformación de pilas debido al mayor tiempo que le tomará al cargador frontal para darle forma cónica a pequeños cúmulos de material y en el esparcido previo al transporte hasta la tolva de la dosificadora: Mayores costos al transportar y almacenar el material Mayores costos de conformación de pilas con cargador frontal
DESCRIPCION			BENEFICIOS POTENCIALES
En el procedimiento constructivo sólo cita a la segregación en un párrafo, donde hace mención a las recomendaciones de las EETT, la cual indica tener cuidado en la granulometría del material, sin embargo también se debe tener en cuenta otras etapas del procedimiento constructivo para evitar la segregación			- Reducción de costos de retrabajos (EQ y MO)
Almacenamiento en pilas de material		Transporte de material granular	- Mayor producción al evitar tiempos improductivos de trabajo en otro frente
Se sugiere formar pilas pequeñas de almacenamiento cuyo tamaño no exceda la cantidad de material que transporta 1 volquete de esta manera se evita el desdoblamiento de material muy grueso por las pendientes y además que el cargador mezcle las pilas antes de llevar el material a la planta		Es recomendable cargar volquetes en 3 o más tandas, de esta manera se evita la acumulación de las piedras más grandes en los extremos	COMENTARIOS ADICIONALES
Descarga		Mezclado y esparcido	Durante el esparcido, se debe vigilar constantemente la presencia o no de zonas segregadas. La mayor parte del tiempo sólo se verifica los límites laterales y el espesor de la capa con un escantillón. Todo lo expuesto en el presente esquema debe trasladarse al procedimiento escrito y además transmitido a los trabajadores mediante capacitación constante
En el proyecto, ya están estandarizadas las buenas prácticas de descarga de material dada la experiencia de los operadores de volquete, sin embargo se recomienda cargar menos material para evitar problemas en tramos curvos		Una vez que se termina de descargar un volquete, no se debe usar el material acumulado a los costados de la tolva de la esparcidora para seguir avanzando. Es ahí donde se acumula gran cantidad de material grueso con muy poco contenido de finos	

Tabla 5. 3 Acciones correctivas contra los niveles de compactación deficientes (elaboración propia)

DEFECTO ENCONTRADO	ACCION CORRECTIVA	SUGERENCIAS DEL LEAN CONSTRUCTION	COSTOS DE CALIDAD ADICIONALES
Grado de compactación inferior al requerido	<ul style="list-style-type: none"> Mayor coordinación con producción al momento de adquirir equipos Capacitación del personal en uso de frecuencias y mayor supervisión en campo Calibración del densímetro nuclear 	<ul style="list-style-type: none"> Se sugiere emponderar a los trabajadores al tomar en cuenta sus sugerencias y críticas 	<ul style="list-style-type: none"> Casi no existen costos adicionales, pues las recomendaciones son cambios de metodología de trabajo. Los únicos costos serían las HH de capacitación adicional de personal obrero y posibles mayores tarifas de rodillos Mayores costos de HH de capacitación Mayores tarifas de nuevos rodillos
DESCRIPCION			BENEFICIOS POTENCIALES
Las acciones correctivas señaladas son resultado de la investigación en campo, donde fundamentalmente se aprecia que se deja al criterio del operador de rodillo el cumplimiento de las especificaciones durante el proceso			- Reducción de costos de retrabajos (EQ y MO), - Reducción de costos de transporte a frentes que se hablan terminado
Planeamiento de ejecución de capas			COMENTARIOS ADICIONALES
El rodillo Sakai adquirido no es compatible con los requerimientos de ejecución, esto es visible ante la falta de compactación adecuada en los tramos ejecutados por dicho rodillo, se recomienda adquirir nuevos rodillos y ejecutar tramos de prueba con los mismos para determinar un número referencial de pesadas considerando el espesor de las capas (23 cm y 15 cm)			Se indica que la cuadrilla inicial se componía de un rodillo Bomag y un Hamm. Fue a inicios de Mayo que el primero se reemplazaron por rodillos Sakai con lo que los problemas relativos al grado de compactación se incrementaron
Utilización efectiva del densímetro nuclear			
La supervisión indicó que para el caso de Base, los ensayos de medición del grado de compactación serán realizados sólo con el método del cono de arena debido a la importancia de dicha capa y a la baja confiabilidad del densímetro del proyecto lo cual afecta el rendimiento de la cuadrilla de control de calidad. Se sugiere calibrar el equipo en coordinación con el proveedor y realizar pruebas experimentales para correlacionar los resultados entre ambos ensayos			

También es necesario aumentar los recursos de la cuadrilla de control de calidad de tal manera que se asegure la longitud necesaria para la ejecución, la cuadrilla actual se concentra más en el control del asfalto en planta y en pista dejando las capas granulares en un segundo plano. Por ello, se sugiere aumentar una cuadrilla adicional compuesta de los siguientes recursos (luego de haber obtenido la autorización de la supervisión para el uso del densímetro nuclear):

- ✓ 1 Operario con conocimiento de ensayos
- ✓ 3 ayudantes
- ✓ 1 Vigía
- ✓ 1 Densímetro nuclear adicional

La liberación de frentes debe programarse con un día de antelación con longitudes estandarizadas y no a voluntad de la cuadrilla de control de calidad, además de esta manera se puede coordinar con la supervisión para garantizar la liberación eficaz de los tramos. De acuerdo al gerente de gestión de operaciones de COSAPI, esto ya se ha realizado en otros proyectos, donde se programaban cantidades a liberar con un día de antelación para asegurar el flujo de producción. Esto debe complementarse con la reducción del tamaño del lote de transferencia pues grandes tramos son más propensos a deteriorarse lo cual se verá más adelante.

5.1.1.2 Mejoras al sistema de programación a mediano plazo

Uno de los problemas tratados el acápite anterior fueron las ventanas de trabajo debido a deficiencias en el planeamiento y falta de coordinación. Esto a pesar de que el proyecto ya tiene instaurado el sistema de programación "Last Planner" (y COSAPI en general desde el 2005) y de que los ingenieros de campo han recibido la capacitación necesaria y realizan cada semana el Look Ahead correspondiente a su especialidad de trabajo (Pavimentos y Explanaciones, Obras de Arte y Producción de Agregados). Sin embargo, es esta elevada cantidad de frentes interdependientes la mayor fuente de problemas en el planeamiento, pues cada uno de ellos programa de acuerdo a su propio ritmo y disponibilidad de recursos, sin considerar el impacto que recibe de los otros departamentos ni el efecto que puede tener en las demás especialidades. Además, existen indefiniciones al momento de

tratar restricciones y otras falencias que han llevado a que la herramienta Last Planner pierda su efectividad.

A continuación se detalla algunas recomendaciones que surgieron luego de estudiar los problemas hallados en los procesos de Base y Sub Base granular pero que probablemente se dan en otros procesos, así se podrá asegurar el flujo de trabajo.

✓ Planificación Maestra por Hitos Contractuales:

El cronograma contractual mediante barras Gantt es un formato muy confuso que resulta tedioso de leer en muchos casos. Siendo los hitos contractuales fuente de valor para los clientes internos y externos, se recomienda que se proporcione a los ingenieros de campo -responsables de la programación detallada- la relación de dichos hitos por entregables actualizada periódicamente (por las posibles variaciones por mayores o menores metros o cambio del alcance), de esta manera se facilita el mutuo entendimiento en cuanto a plazos. En el proyecto en estudio -y en otros dos proyectos en los que participó el autor previamente- sucede todo lo contrario, los jefes de frente programan según el ritmo que vienen consiguiendo pero no están al tanto de los compromisos con los Stakeholders y se termina programando erróneamente. La inexactitud de la programación es detectada por las áreas de gestión de proyectos en las reuniones generando discusiones desgastantes entre las áreas que al final no conducen a nada. Por lo tanto, se recomienda resumir las informaciones más importantes (hitos de finalización y/o entrega de frentes) en una pequeña hoja de Excel como la mostrada en la tabla 5.4 con mayor facilidad de lectura, así se implementa uno de los principios del Lean Construction a los procesos de gestión de la producción: la transparencia.

Tabla 5.4 Ejemplo de progresivas vs fechas de finalización (elaboración propia)

Entregable	Mes								Fecha término final
	S1		S2		S3		S4		
	Prog.	Fecha	Prog.	Fecha	Prog.	Fecha	Prog.	Fecha	
Mejoramiento a nivel de Sub Rasante	91+333	08-jul	92+167	15-jul	93+000	22-jul	98+820*	30-jul	30-jul
Sub Base Granular	85+408	08-jul	87+556	15-jul	89+704	22-jul	91+582	30-jul	708/2013
Base Granular	82+600	08-jul	85+638	15-jul	88+675	22-jul	91+713	30-jul	14-ago
Concreto Asfáltico en caliente	76+00	08-jul	77+000	15-jul	51+667**	22-jul	53+333	30-jul	30-ago

* No se toma en cuenta el tramo crítico

** Se debía culminar con el tramo inicial

Con ayuda de una tabla como la mostrada sería más sencillo identificar desviaciones cada fin de semana con su sola inspección y contraste con lo reportado por campo.

✓ Phase Schedule, Look Ahead y Análisis de Restricciones:

El estudio de las herramientas de programación realizado puso al descubierto problemas en la aplicación correcta del Look Ahead que impedían cumplir su principal objetivo: disminuir la variabilidad del sistema. Se identificó que había muy poca coordinación entre los 3 departamentos de producción, esto sucedía por que los ingenieros responsables de cada departamento (Explanaciones y Pavimentos, Obras de Arte y Plantas Industriales) por lo general elaboraban el Look Ahead (con un horizonte de 3 semanas) los viernes en la noche para ser presentadas y contrastadas en la reunión semanal de producción los sábados. Sin embargo, cada uno programaba sin coordinar con los frentes restantes y con poco detalle, esto se visualizaba en la planificación correspondiente a la segunda y tercera semana. Por ejemplo, el departamento de explanaciones y pavimentos programaba ejecutar cierta cantidad de sub base, sin embargo en esas mismas progresivas los ingenieros de Obras de Arte habían programado finalizar un muro de contención varios días después. Esta contradicción física imposibilita un flujo de producción continuo en el tramo descrito y por lo tanto cae dentro de la denominación de restricción.

La técnica "Pull Planning Schedule" es una buena alternativa cuando se dispone de diversas especialidades trabajando en los mismos frentes ya que utiliza un soporte visual (pizarra) donde se puede visualizar las restricciones interdependientes. En este caso en particular sería recomendable que las 3 áreas de producción se reúnan frente al layout del proyecto para identificar posibles interferencias en el mediano plazo (ya sea una obra de arte no finalizada, cantidad de agregados, etc.), esto se viene realizando en obras de edificaciones mediante el soporte BIM donde se visualizan interferencias entre estructuras, instalaciones eléctricas (IIEE) e instalaciones sanitarias (IISS). Para proyectos de carreteras, el departamento de innovación de COSAPI está planeando adquirir pantallas táctiles que permitan visualizar el layout de manera interactiva.

Como ejemplo de las ventajas que ofrecería usar el "Pull Phase" se puede citar un caso muy interesante que ocurrió durante la reunión de producción del 07 de Junio: se programó el "lanzamiento" de sub rasante desde en el tramo comprendido entre 93+880 - 94+880 desde el día 17 de junio hasta el 19 Junio, pero se preveía construir el muro de concreto armado correspondiente a 93+920- 94+120 entre el 14 de junio hasta el 21 de dicho mes inclusive. Es decir (si se cumple lo programado) tenían que superponerse ambas actividades lo cual es físicamente imposible dada las características de criticidad de la obra de arte. Al ser prioritario finalizar con los trabajos de sub rasante en esa zona, se persuadió a los ingenieros responsables a adelantar los trabajos del muro de contención con lo que se descubrió que ellos no tenían los recursos de mano de obra ni de andamios suficiente para ello y además el diseño no estaba conforme a la forma del terreno (la ubicación de una de las uñas del muro caía directamente sobre material suelto).

En este caso el proyecto realizó una sesión de "Pull Phase", al margen de que no se utilizó el formato de etiquetas ni pizarras, puesto que, a partir de la necesidad de cumplir los hitos se determinan lo que se **debe** realizar y que **restricciones impiden** su realización que suelen ser responsabilidad de diversas áreas del proyecto. Lamentablemente, todas las acciones requerida para conseguir la reprogramación eficaz (sin alterar las actividades restantes) no podían ser levantadas en el tiempo puesto que se identificaron con sólo 1 semana se anticipación y requería de al menos 14 días.

La figura 5.2 muestra un ejemplo de "Pull Phase", el formato proviene de las pizarras de planeamiento donde se colocan los requerimientos por tipo de entregable, responsable y fecha de levantamiento tentativa utilizando notas adhesivas. El objetivo es hallar restricciones que impedirán la ejecución de una actividad y por lo tanto aumentarán el plazo con la fecha requerida y su responsable, este procedimiento no es nuevo y de hecho las reuniones de restricciones en el proyecto han dado buenos resultados. Pero, lo que se busca mediante las reuniones del tipo "Pull Phase" es incrementar el nivel de coordinación entre los frentes de producción e involucrarlos con las demás áreas del proyecto. El suceso narrado pudo haberse identificado perfectamente 1 o 2 semanas antes, evitando así la aparición de ventanas de trabajo adicionales y aceleración constructiva esto debe ser complementado con la ampliación del horizonte del Look Ahead a 1 semana adicional.

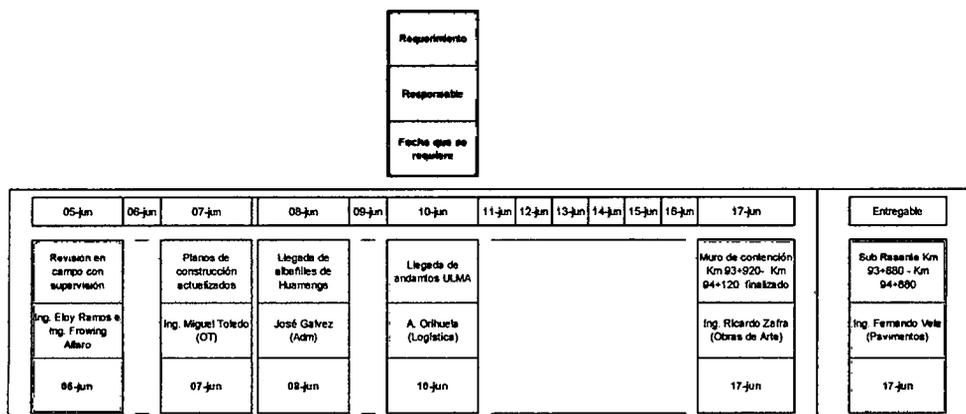


Figura 5.2 Ejemplo de sesión de "Pull Phase" (elaboración propia)

Otro problema identificado fue que muchos tópicos incluidos en la relación de restricciones que -aun siendo importantes- no gozan de los requisitos necesarios para ser denominados como tal (ver tabla 5.5), por ejemplo "falta de redistribución de vigías de los tramos I y II", "Falta cuadro de cuadrillas de trabajo y lista de personal de piso y operarios a liquidar por la reducción de los frentes de trabajos" o "Falta contratos de las empresas ARABE, CHALPON, manejados por administración de obra que debe alcanzarlos a control de proyectos" eran puntos que estaban incluidos en la relación de restricciones que producen impactos en costo, pero no pueden detener la producción y por lo tanto no son restricciones. Discutir estos temas quita tiempo valioso que debe ser aprovechado en realizar el seguimiento a las que sí pueden poner en riesgo el flujo continuo como falta de recursos e información.

Tabla 5. 5 Ítems incluidos en el análisis de restricciones (elaboración propia)

TOPICO	FECHA
Falta actualizar cuadro de distribución de volquetes, excavadoras, cisternas de agua Tramo I y Tramo II	27/09/2012
Falta redistribución de vigías de los tramos I y II, de las áreas de obras de arte y explanaciones, distribución actual de sus cuadrillas	28/09/2012
Falta cuadro de cuadrillas de trabajo y lista de personal de piso y operarios a liquidar por la reducción de los frentes de trabajo	12/10/2012
Falta contratos con empresas ARABE, CHALPON, manejados por administración de obra que deben ser alcanzados a control de proyectos	29/08/2012
Falta proporcionar el contrato de condiciones y acuerdos que se han tenido con todos los subcontratistas de equipos que han sido definidos en Lima (RELSA/ UNIMAQ / RD RENTAL/TRITON)	16/08/2012

Se recomienda generar una reunión de restricciones y planeamiento donde se realice las sesiones de planeamiento descritas y se traten aquellos puntos que puedan detener el flujo, los temas restantes pueden ser tratados en otra reunión de carácter general.

5.1.2 Operaciones Eficientes

Por lo general, los 3 principios de mejora del Lean Construction inician al asegurar el flujo, luego se balancea las capacidades de los procesos con el objetivo de dimensionar las cuadrillas y decidir el método y tecnología constructiva para finalmente eliminar las actividades que no añaden valor (tiempos improductivos en su mayoría) de cada proceso individualmente. En el caso en estudio, sin embargo, al inicio del proyecto ya se había realizado el balance de capacidades respectivo - de ahí que se tengan 2 cuadrillas de nivelado, refinado y compactación (2 motoniveladoras y 4 rodillos) pues el rendimiento de la esparcidora es mayor-, entonces el desbalance de capacidades se debe a que los procesos no están alcanzando el ritmo deseado por lo que primero se mejorará cada proceso de manera individual para que lleguen a toda su capacidad, luego se puede estudiar la viabilidad de aplicar sistemas basados en jalar (pull system) y mejorar el proceso de esparcido. Por lo tanto **es prioritario mejorar** el pobre desempeño de los procesos de nivelado, refinado y compactación final a través de la reducción de actividades que no añaden valor encontradas como los:

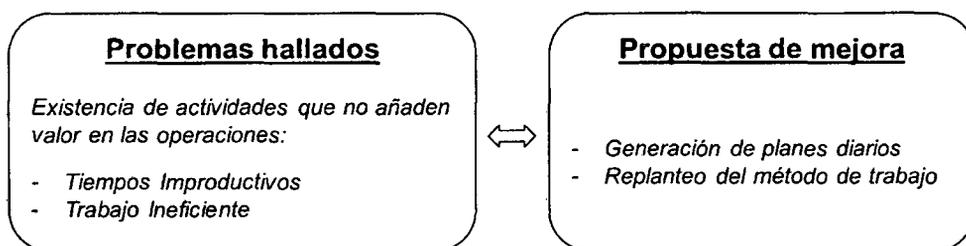


Figura 5.3 Problemas hallados vs propuestas de mejora - procesos eficientes (elaboración propia)

5.1.2.1 Reducción de actividades que no añaden valor

Primero se debe reducir todas las esperas y tiempos improductivos menores que ocurren durante las operaciones producto de la falta de previsión y comunicación entre frentes, guardias y personal de soporte operativo (topografía, almacén y

mantenimiento rutinario), estas suelen darse al inicio de la jornada y muchas veces se encuentran estandarizadas en los trabajos diarios, por ejemplo es normal observar que los obreros solicitan algún material recién cuando este se acabó y ya no pueden seguir avanzando, este tipo de pérdidas menores se determinan con el estudio de tiempos mostrado en el capítulo anterior, la figura 5.4 señala los tipos hallados (tanto para Base como para Sub Base):

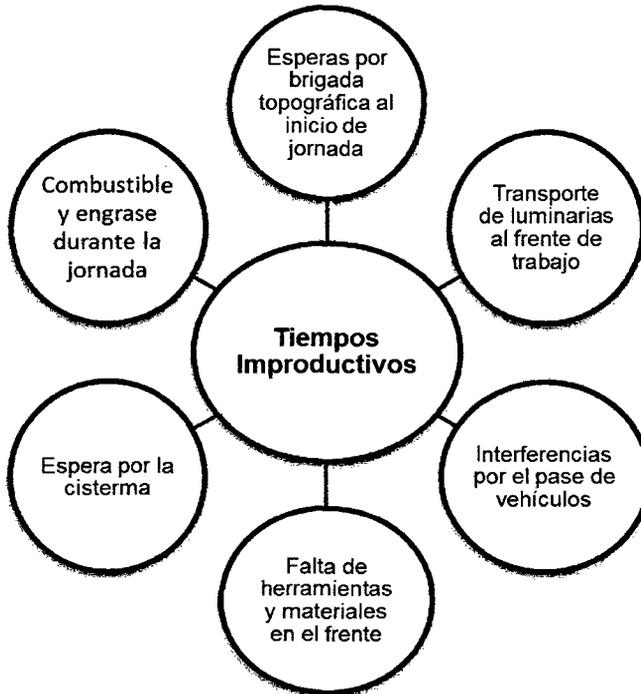


Figura 5.4 Tiempos improductivos menores (elaboración propia)

Dado que estas pérdidas se originan producto de la falta de planeamiento a corto plazo y anticipación se recomienda utilizar planes diarios para coordinar con el personal de soporte (topógrafos, operador de cisterna, mecánicos, almaceneros) la hora aproximada en que serán requeridos para así evitar problemas de detenciones. La tabla 5.6 muestra un ejemplo de un formato sugerido para planificación diaria, la ventaja de realizar este tipo de programación radica en que se disminuirán las interferencias (pérdidas menores) al anticiparlas, por ejemplo la actividad de imprimación asfáltica requería disponibilidad de la compresora para las 10:00 am (equipo que era compartido con el frente de perforación y voladura) y además 2 trabajadores requerían nuevos trajes tibet, ambos requerimientos al ser detectados con anticipación brindan mayor holgura para iniciar las actividades sin inconvenientes (los trabajadores deben ir hasta el almacén para retirar su EPP pues

este proceso es personal). Sin embargo los procedimientos constructivos gozan de mucha variabilidad por lo cual conocer horas de inicio y término exactas es imposible, por ello se sugiere brindar tiempos aproximados para la coordinación entre frentes. También se sugiere realizar el engrase de los equipos fuera de la jornada de trabajo.

Tabla 5.6 Formato de plan diario sugerido (elaboración propia)

		Planeamiento Diario - Explanaciones y Pavimentos				Revisión 1 Página 1			
Código del Proyecto: CR 2938 - Mejoramiento y Rehabilitación de la carretera		Área: Producción		Nro. De registro:					
		Cliete: Ministerio de Transportes - Provias Nacional		Ubicación: Ayacucho					
Descripción de la Actividad	Progresivas	Hora (aproximada)	Recursos				Interferencias	Und	Producción meta
			Cuadrilla	Pull	Materiales	Soporte			
Nivelado y Refinado	75+000 - 75+400	7:30 - 12:00	Luis Hernandez	B	Plantillas	Topografía	Disponibilidad de sistema	ml	400
Sub Rasante	80+550 - 80+900	10:00 - 2:00	Paz Soldan	A	Relleno	Topografía	-	ml	350
Imprimación Asfáltica	72+300-72+500	8:00 - 12:00	Jhonny Paz	A	2 Trajes Tibet	-	Disponibilidad de compresora	ml	200
Colocación de Mezcla Asfáltica	65+500 - 65+900	2:00 - 5:30	Pablo Echevarria	A	Escantillón	-	Presencia de ing. De supervisión	ml	400

Luego de reducir los tiempos improductivos menores que son comunes a cada actividad, se debe estudiar las fuentes de pérdidas específicas.

✓ **Esparcidora:**

El mayor problema específico que genera tiempos improductivos durante el esparcido (luego de la falta de frente ya tratado en el acápite anterior) se debe a esperas por falta de volquetes con material granular, respecto a este problema el indicador DESAB indica que el promedio de esperas de la esparcidora por cada jornada es en promedio 50 minutos debido en la mayoría de casos al incorrecto dimensionamiento de la cantidad de volquetes necesaria para ejecutar los trabajos en progresivas alejadas y en menor medida a la influencia de condiciones ambientales que impiden el libre tránsito en la ruta (heladas). Ante este problema se sugiere monitorear constantemente el indicador DESAB (no se requiere de un estudio a productividad a profundidad si no sólo cronometrar los tiempos de paras por este problema), cuando este indicador demuestre un incremento sostenido será necesario adicionar camiones adicionales.

✓ **Motoniveladora:**

Si se contrasta los resultados obtenidos en el estudio del trabajo en el campo entre los procesos de esparcido y refinado, se puede observar que los valores promedio de trabajo productivo de la motoniveladora son mayores que los de la esparcidora y sin embargo el rendimiento económico del segundo es mayor. Esta contradicción se explicaba con los siguientes puntos (incluidos en el diagrama causa y efecto de la figura 4.28)

Operadores con poca experiencia Se detectó que los operadores de ambas motoniveladoras no tenían más de 4 años de experiencia y además la mayor parte de ella eran actividades relacionadas al mantenimiento de caminos. Considerando que los requerimientos de precisión de los trabajos de nivelado y refinado son mucho más exigentes y de mayor dificultad que los del mantenimiento rutinario, los operadores aplicaban de mayor cantidad de pasadas para obtener el nivel deseado, esto además aceleraba el desgaste de las cuchillas de corte y cantoneras de los equipos. Por lo tanto se sugiere contratar operadores con mayor tiempo de experiencia en proyectos netamente de carreteras.

Escarificado Inicial: Este punto requería de mayor investigación, se consultó con los operadores, jefes de grupo e ingenieros sobre las posibles razones que forzaban a escarificar la capa luego del esparcido. La causa más común hallada fue la percepción de deterioro que se tenía sobre una capa esparcida debido a condiciones ambientales (heladas, precipitaciones y paso de vehículos), un jefe de grupo además consideraba que las capas esparcidas presentaban alto nivel de segregación por lo que debía reconfirmarse en su totalidad (ver figura 5.5).

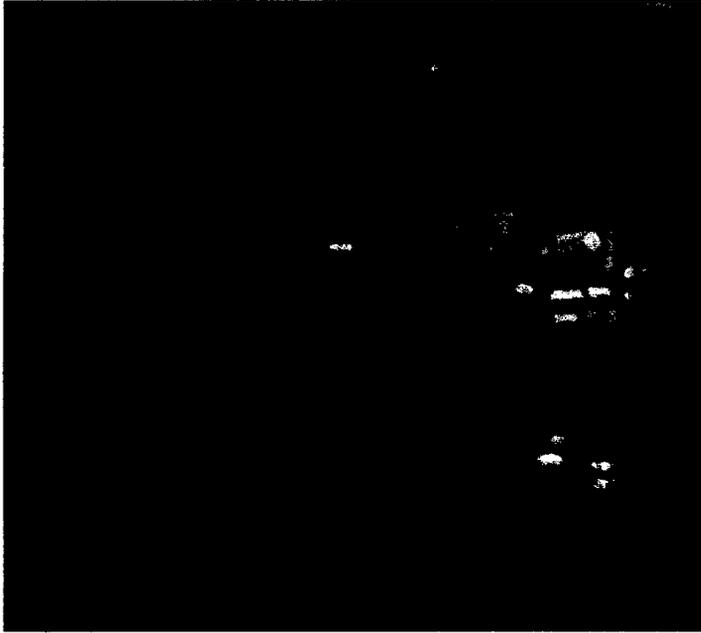


Figura 5.5 Imagen de escarificado de capas granulares (fuente propia)

Si existe segregación sí amerita escarificar toda la capa y reconformarla en aras de preservar la calidad, este tópico ya fue tratado previamente (ver tabla 5.2) por lo que en esta parte del estudio se analizará si el deterioro. Al respecto, si bien es cierto que la demora en la liberación de frentes y el desfase de rendimientos entre el esparcido y el refinado han generado gran cantidad de inventarios de Base y Sub Base volviéndolos más propensos al deterioro, también se debe considerar que el planeamiento original contempla holguras de al menos 2000 m (1 semana en tiempo) en procesos de pavimentación, en otras palabras las capas de inferiores del pavimento (Sub Rasante, Sub Base, Base o Imprimación) se ejecutan y 1 semana después se lleva a cabo la capa superior, esto quiere decir que las capas deben ejecutarse de tal manera que posean la capacidad de resistir las condiciones ambientales al menos 1 semana antes de que la capa siguiente. El hecho mencionado fue tomado en cuenta en el diseño y la emisión del procedimiento original del esparcido por lo que se diseñó una mezcla con propiedades drenantes (tal como indican los estándares de permeabilidad del diseño de pavimentos) y se incluyó un rodillo para trabajos de “sellado”¹³ y “engrampado”¹⁴ de las capas. Además, durante el mes de junio no fue muy frecuente condiciones ambientales (precipitaciones) que deterioren los trabajos, esto se comprobó al revisar el registro

¹³ El rodillo compacta la capa con el fin de “sellar la capa” ante la posible filtración de agua superficial

¹⁴ Engrampado hace referencia al sellado de las juntas longitudinal y transversal en la ejecución de base y sub base

de reclamos de ampliación de plazo realizados en junio debido a condiciones climáticas excepcionalmente adversas, sólo hubo 1 reclamo por 3 días como consecuencia de las lluvias del día 17, parte del día 18 y los efectos continuado de saturación del día 19. Finalmente si una capa está debidamente engrampada y sellada el pase de vehículos no es una fuente crítica de deterioro y es inclusive aprovechado para compactar los extremos de la calzada en los que el rodillo no tiene suficiente alcance.

Por lo expuesto anteriormente, no se justifican las actividades de escarificación ni su consecuente tiempo de escarificación y aumento del número de pasadas siendo aconsejable quitar esa etapa del método de trabajo. Sin embargo, esto está condicionado a que las condiciones climáticas sean regulares, se reduzca el nivel de inventario de trabajo en proceso producto de la brecha de rendimientos y se realice adecuados procesos de esparcido (evitando la segregación), sellado y engrampado para brindar así a las capas de las propiedades mecánicas requeridas con tal de hacer frente a los factores de deterioro mencionados. Se sugiere lo siguiente:

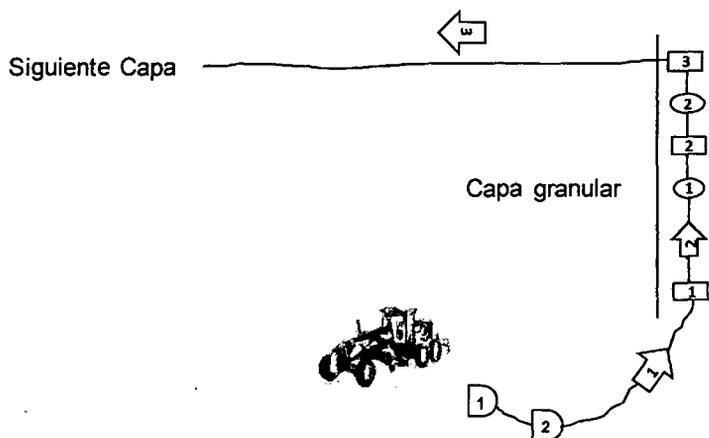
- Seguir los procedimientos de calidad indicados en la tabla 5.2 con el fin de evitar defectos que requieran de escarificación
- Disminuir el tiempo de exposición de las capas, esto se logrará al seguir todas las recomendaciones expuestas anteriormente y balancear los rendimientos entre el esparcido y el refinado
- Supervisar los trabajos de sellado, engrampado y compactación inicial luego del esparcido en conformidad con el artículo 303.09 de las EETT: “La compactación se efectuará longitudinalmente, comenzando por los bordes exteriores y avanzando hacia el centro, traslapando en cada recorrido un ancho **no menor de un tercio (1/3) del ancho** del rodillo compactador. En las zonas peraltadas, la compactación se hará del borde inferior al superior”
- Se recomienda realizar tramos de prueba para determinar un valor referencial sobre el tiempo en que una capa no terminada puede mantener sus propiedades mecánica y física en condiciones “normales” (sólo para tener un valor referencial puesto que la dificultad de recrear condiciones normales en un proyecto de gran longitud imposibilita obtener valores reales)

Entonces, luego de reducir esperas y eliminar el escarificado y conformación, el nuevo método de trabajo tendrá la siguiente forma (ver tabla 5.7)

Tabla 5.7 Cursograma analítico mejorado del nivelado y refinado (elaboración propia)

Equipo: Motoniveladora John Deere 670G Capa: Sub Base Granular
Tramo: 88+860 - 89+060 Turno: Día
Fecha: 22/06/2013

N°	DESCRIPCION	DIST (m)	TIEMPO (min)	○	⇒	D	□	▽
1	Charla de seguridad y llenado de ATS		15					
2	Calentamiento del motor		10					
3	Toma posición para inicio	20	3.1			X		
4	Plantillado topográfico		31.4					X
5	Toma posición para inicio	20	2.8			X		
6	Nivelado (corte y relleno compensado)		42.3					X
7	En espera por inspección		8.7					X
8	Refinado		45.7					X
9	En espera por inspección		5.3					X
10	Transporte al siguiente tramo	700	4.9			X		
TOTAL		740	169.2	2	3	2	3	



Al reducir el número de pasos y distancias de transporte de la manera propuesta, el tiempo de ciclo también se reducirá en aproximadamente 1.41 veces ya que ahora sólo se realiza 10 pasos a diferencia del anterior en que se necesitaban 15 pasos y más del doble de distancias a recorrer.

✓ **Rodillos:**

Al igual que el caso de las motoniveladoras, los rodillos también poseen altos valores de Trabajo Productivo (TP) pero su desempeño total es menor al previsto debido al exceso de pasadas que se aplican sobre las capas, esto se debe a los

problemas de compactación deficiente que se habían reportado constantemente lo que obligaba a los operadores a incrementar el número de pasadas con el fin de estar seguros de que la capa cumplirá con lo especificado. Al respecto, se puede indicar lo siguiente:

- Al eliminar la escarificación innecesaria, mencionada anteriormente, se mantendrá el grado de compactación inicial que se le brindó durante el sellado y por lo tanto la energía de compactación a aplicar será menor
- Poner en marcha las sugerencias de la tabla 5.3, sobretodo cambiar los rodillos Sakai que estaban ocasionando defectos debido a que no son adecuados para este tipo de trabajos y tramos de prueba en condiciones parecidas a la ejecución con los nuevos rodillos midiendo las densidades obtenidas con cada número de pasadas
- Controlar que el equipo se encuentre con el motor apagado durante los tiempos muertos
- Tomar en cuenta las causas halladas en el diagrama de Ishikawa (figura 4.29) para bajo nivel de compactación, poniendo especial énfasis en el uso de las frecuencias altas de compactación, se detectó que los operadores no tenían claro cuando era conveniente usar una u otra frecuencia y las utilizaban indistintamente, al respecto debe aclararse que las frecuencias altas (y de amplitud baja) de hasta 2500 RPM son las recomendadas para compactar material granular como el que compone la Base y Sub Base, además es conveniente revisar rutinariamente el sistema de frecuencias ya que estos suelen descomponerse por mala operación y brindarán datos erróneos, se recomienda capacitar a los operadores en temas como este
- Un punto adicional que surgió de la investigación con asesores especializados es la influencia de la velocidad a la cual debe desplazarse los rodillos en la compactación final (a lo más 7 km/hr), se sugiere incrementar la supervisión de los procesos de compactación monitoreando la correcta utilización de las frecuencias y la velocidad de desplazamiento

5.1.3 Estandarización del flujo

Una vez asegurado el flujo de actividades, la filosofía Lean Construction recomienda generar flujos eficientes durante la producción. En manufactura, este sistema de producción permite eliminar los principales problemas que sufren las

fábricas: la sobreproducción (madre de todas las pérdidas según Ohno) y los inventarios que trae consigo. Sin embargo, es muy difícil imitar este sistema de producción en la construcción pues las operaciones no se desarrollan en fábricas (donde la mayoría de procesos están automatizados), sino en el campo, donde la variabilidad de las condiciones del sitio, los periodos de producción largos, la gran cantidad de agentes involucrados y el factor humano generarán gran inestabilidad a los procesos ocasionando inventarios y otras pérdidas. Entonces el **principal problema** en la construcción no es la sobreproducción, sino **la variabilidad**, por lo que la aplicación de flujos eficientes debe tomar en cuenta su impacto antes de ser implementada. La figura 5.6 muestra las oportunidades de mejora propuestas.

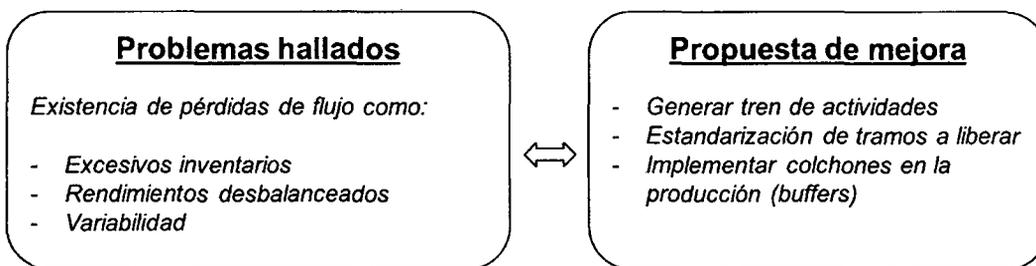


Figura 5.6 Problemas y oportunidades de mejora - Flujos eficientes (elaboración propia)

En proyectos de edificaciones, las etapas para lograr flujos eficientes son 3:

- ✓ **Sectorización:** se estima la demanda de trabajo de un sector y se divide en partes similares
- ✓ **Dimensionamiento de las cuadrillas:** para que los distintos procesos constructivos tengan rendimientos similares
- ✓ **Generación de tren de actividades (reducción del lote de transferencia):** la producción debe realizarse mediante el sistema "empujar", es de decir sólo produciendo lo que el siguiente proceso necesita (pasillos FIFO¹⁵ para su reconocimiento en el Mapa de Flujo de Valor), también se suelen utilizar flujos de "una sola pieza" pero esto es más utilizado en talleres.

A continuación se analiza la viabilidad de su implementación en los procesos en estudio:

¹⁵ Pasillo FIFO: De las siglas en Primero en entrar-Primero en salir, se denomina así a los sistemas de producción basados en jalar, donde se produce la cantidad exacta que el siguiente proceso necesita

✓ **Sectorización:**

Se debe cuantificar la cantidad de producción a realizarse en un tiempo determinado (días generalmente) tal que pueda ser realizado por una cuadrilla y que sea mayor o igual a la producción diaria meta. Entonces, si seguimos los rendimientos de avance meta del cronograma interno (que coincide con el presupuesto meta) notamos que Sub Base debe producir menos (380 m/día) que la capa de Base (400 m/día) lo cual dejaría sin frente al segundo tarde o temprano, lo ideal es igualar los avances de cada uno para así no tener problemas. Se propone 400 m/día como objetivo inicial para cada capa, el cual es mayor e igual que los meta respectivos, vale mencionar que estos valores fueron validados por los ingenieros de campo que incluso refirieron que es posible obtener rendimientos mayores.

✓ **Dimensionamiento de las cuadrillas:**

Luego de definir los objetivos de avance lineal diarios (sectorización) se debe dimensionar las cuadrillas de los procesos involucrados con tal que sus capacidades sean equivalentes, al inicio del proyecto ya se realizó este análisis (basándose en 2 proyectos pasados) que preveía utilizar 2 pull de equipos de refinado para compensar la producción del esparcido con pavimentadora. Según el estudio realizado, este balanceo de capacidades no viene ocurriendo, pero al mejorar el rendimiento de las motoniveladoras y rodillos -a través de la eliminación de pérdidas tratado anteriormente- se considera que el ritmo de producción será muy parecido al planteado originalmente. La figura 5.7 muestra el equilibrio teórico.

	Base	Sub Base
Esparcido de material	400	400
Nivelado y Refinado: Cuadrilla 1	200	200
Nivelado y Refinado: Cuadrilla 2		200

Figura 5.7 Sectorización y dimensionamiento propuesto (elaboración propia)

✓ **Generación de tren de actividades y reducción del lote de transferencia:**

En el caso en estudio el lote de producción es muy grande (el indicador INVENTARIO es en promedio 1 km), Lean recomienda reducir el tamaño ya que lotes más pequeños facilitan la detección oportuna de fallas y además disminuye el

plazo total de entrega, pero aquí se debe tener en cuenta el **impacto de la variabilidad**, lo que se manifiesta en los siguientes puntos:

- Sería recomendable que las 2 operaciones trabajen al mismo tiempo para reducir el lote de transferencia y el tiempo de inventario, sin embargo la decisión operativa de separarlos en 2 turnos se debe a interferencias con otras actividades como la construcción de cunetas con encofradora deslizante (cunetera) y los volquetes que transportan material como se muestra en la figura 5.8 y esto debido a que los frentes de base y sub base siempre se encontrarán por delante de donde se ejecutan las cunetas según la secuencia y el planeamiento de ese proyecto (se adjunta el layout y tiempo-camino en los anexos), Pero, al estudiar de manera más cercana el problema, se observó que el equipo que dificulta el libre tránsito era en verdad el Mixer que transporta concreto y no la cunetera y el Mixer no necesita estar todo el tiempo abasteciendo a la cunetera pues esta tiene un almacén, así que es posible que mixer libere el camino cada vez que termina de descargar. Además, al unir las actividades en 1 turno es posible reducir el deterioro de las capas producto de las bajas temperaturas nocturnas. Por ello, es más conveniente que las actividades se realicen en 1 sólo turno.



Figura 5.8 Interrupciones al libre flujo de material durante colocación de concreto en cunetas (fuente propia)

- Si ambas actividades se realizaran de noche habría problemas de calidad pues el proceso de nivelado necesita un control estricto de las cotas topográficas, en el turno noche es mucho más complicado nivelar, plantillar y mantener el

Sin embargo, este ritmo dependerá del grado de confiabilidad en la liberación de capas puesto que esa actividad define el ritmo de avance. Mediante las recomendaciones dadas en el acápite 5.1 y el flujo de "1 sola pieza" propuesto (capas de 400 m), se pueden **estandarizar** la liberación de capas inferiores pues habrá menor cantidad de defectos, las capas no se deterioraran pues el tiempo de exposición es menor y además existirá una cuadrilla de control de calidad con mayores recursos.

Tal como se puede apreciar en la figura 5.9, existe un inventario constante de más de 400m para la capa de Sub Base y más de 1000m para la de base, producto de los buffers que se incorporaron, los cuales generarán algunas otras pérdidas pero que deben ser asumidas ya que con ellas se obtienen beneficios mayores que suprimiéndolas. Los valores de inventarios mostrados en la práctica no serán exactos pudiendo existir mayores cantidades debido a que siempre existirá un **remanente de variabilidad** que no puede ser controlada con el conocimiento actual, por ello en el mapa de flujo de valor mejorado se incluyen valores límite para **monitorear constantemente** la cantidad de inventario.

5.1.4 Mapa de Flujo de Valor (MFV) - Estado Mejorado

Finalmente, se toman en cuenta todas las recomendaciones brindadas con el objetivo de graficar un Mapa de Cadena de Valor mejorado cuyos nuevos indicadores permitan llevar el seguimiento y control, cabe indicar que estos valores fueron validados por ingenieros con experiencia en carreteras como valores factibles de alcanzar (ver figura 5.10).

5.1.5 Resumen de planes de mejora

El estado mejorado se fundamenta en los siguientes puntos:

Asegurar el flujo: Los principales problemas en contra de un flujo continuo eran los defectos, deterioros y la falta de recursos del personal de control de calidad. Además de la mala planificación que genera tramos “ventana”. Entonces, se propone medidas tanto a nivel de gestión como en el campo:

- *Mejoras a los procesos de aseguramiento, control y gestión de la calidad:* Incluye la adquisición de 2 nuevos rodillos de mayor capacidad y la realización de nuevos tramos de prueba. Además se sugieren nuevos puntos de inspección a los procedimientos con recomendaciones para el control de la segregación.
- *Programación de tramos a liberar:* Una vez mejorados los procesos de gestión de calidad, es necesario estandarizar las distancias a liberar de manera diaria en coordinación con la supervisión y de acuerdo a la programación de actividades, esto se monitoreará con el indicador TF que mide los tiempos muertos por falta de frente, el mapa mejorado considera que no deben existir tiempos muertos por esta causa (TF=0 min), en esta parte no se considera la aparición de eventos externos como precipitaciones.
- *Supermercado de capas liberadas:* Debido a la propia variabilidad que los procesos constructivos poseen, es necesario dejar tramos ya liberados que permitan evitar problemas de falta de frente (tramos buffer), estos deben ser controlados constantemente según el avance de la producción.
- *Incremento de recursos a la cuadrilla de control de calidad:* Se debe aumentar el número de recursos de la cuadrilla de control (personal y equipos IME) para cumplir con las medidas de estandarización mencionadas anteriormente y así disminuir el inventario de productos terminados y evitar deterioros. El objetivo era estandarizar los trabajos y reducir los defectos.
- *Pull Planing Schedule y mejoras a la programación:* Es importante implementar sesiones semanales con pizarras Pull Planing e incrementar el horizonte Look Ahead a 4 semanas para el planeamiento integrado de las áreas de soporte con los 3 frentes de producción, de esta manera se identifican prioridades y restricciones con mayor tiempo. Un ejemplo es la actualización semanal de los saldos de producción de agregados en la planta, estas medidas y las

previamente mencionadas permitirán alcanzar un PPC de al menos 85% lo cual es el mínimo para una programación confiable.

Flujos y Procesos Eficientes: Con el fin de mejorar el desempeño del sistema se debe mejorar el pobre desempeño de los procesos de nivelado, refinado y compactación final que acumula la mayor cantidad de inventario de trabajo en progreso.

- *Reducción de actividades que no agregan valor:* Se deben reducir todas las esperas y tiempos improductivos mediante reuniones de planeamiento diario entre frentes y además se sugiere contratar operadores de motoniveladora con experiencia en trabajos de carreteras, así se reducirán los tiempos no contributivos hasta alcanzar los propuestos (22.6% para el esparcido, 12.7% para el refinado y 13.3% para la compactación)
- *Reducción del tiempo de espera de la esparcidora por falta de material:* Mediante el control semanal de la cantidad de tiempos muertos (lo cual lo puede realizar los propios integrantes de la cuadrilla) se puede actualizar constantemente la cantidad de volquetes y reducir este tiempo improductivo, sin embargo es muy difícil eliminar estos tiempos ya que se debe tomar en consideración la seguridad de esta actividad que se realiza durante la noche con posible presencia de neblinas y en rutas en construcción, además la propia variabilidad del tiempo de transporte de equipos afecta un tiempo preciso llegada (ver teoría de colas).
- *Mejora de la eficiencia del trabajo de la motoniveladora:* La productividad de las motoniveladoras es afectada por los re-trabajos de escarificado en capas esparcidas (por deterioro, segregación o por criterio independiente del operador), al escarificar las capas, gran parte del trabajo de la pavimentadora se echa a perder y se incrementa el tiempo de nivelación. Al disminuir el tiempo de exposición de las capas y mejorar los procesos de gestión de calidad para prevenir la segregación es posible eliminar estos re-trabajos, así se reducirá el tiempo de ciclo del nivelado y refinado logrando aumentar la eficiencia de la motoniveladora, además al liberar los tramos con mayor rapidez cualquier deterioro posterior puede ser objeto de un reclamo por ampliación de plazos.
- *Mejora de la eficiencia del trabajo del rodillo:* Al igual que la motoniveladora, son los re-trabajos los causantes de su baja productividad, entonces al aplicar los principios del aseguramiento de la calidad mencionados y dado que el rodillo

sigue el ritmo a la motoniveladora ambos mejorarán su productividad, pero como existe un componente de incertidumbre sobre el grado de compactación de las capas es muy difícil asegurar completamente la ausencia de defectos por lo que no es posible eliminar completamente los re-trabajos

- *Estandarización de los trabajos:* Se sugiere estandarizar los procesos constructivos a través de la definición de metas de producción, fiel cumplimiento de los estándares de calidad y programación detallada, para ello se sugiere la aplicación del tren de actividades propuesto (tramos estándar de 400 m para cada capa).
- *Producción mediante pasillos "FIFO":* Este sistema de producción (Primero que entra-Primero que sale), permite limitar la cantidad que puede producir un proceso determinado con el objetivo de no rebalsar la capacidad de siguiente y así controlar los inventarios. Debido a que el esparcido tiene mayor rendimiento general que el nivelado y compactación es necesario limitar su producción para tener el inventario bajo control y no desbalancear el proceso a través de un pasillo FIFO, entonces, si se han esparcido 550 m de sub base ya no se debe seguir produciendo esa capa (aun a pesar de tener frente) sino es hora de esparcir la capa de base.
- *Control de la variabilidad de producción:* Aun a pesar de la estandarización de los trabajos, la programación a detalle y el cumplimiento de estándares de calidad, la propia naturaleza de la construcción no permitirá obtener las cantidades exactas de producción deseadas, diversos fuentes de variabilidad como las condiciones climáticas, el ritmo de los operadores, fallos imprevistos de maquinaria y otros seguirán afectando los procesos constructivos por lo que habrá un remanente de variabilidad el cual será controlado mediante los tramos "buffer" que se dejaron y mediante los pasillos FIFO, de esta manera se propone una desviación estándar de a lo más 150 m y un coeficiente de dispersión de 37.5 % para el esparcido y 12.5 % para el refinado y compactación.
- *Disminución del tiempo de entrega:* Al disminuir el lote de transferencia y utilizando los principios de la estandarización del trabajo se puede reducir el tiempo total de entrega de ambas capas de 14 días a 7 días, es decir en 50%, lo cual contribuirá a cumplir con el cumplimiento de los hitos del cliente, cabe indicar que el tiempo podría reducirse más si no se habrían incluido los tramos "buffer", pero en carreteras no es posible prescindir totalmente de este tipo de inventarios debido a que se debe absorber la variabilidad de producción.

Es importante recalcar que en el Mapa de Flujo de Valor Mejorado no se indican los valores de la brecha del costo unitario de producción (BCUP), debido a que estimar estos valores no sería preciso pues no sólo se deben tomar en cuenta los nuevos costos unitarios por mayor rendimiento y menor utilización de recursos, sino también la influencia de evitar costos de no calidad, además en toda implementación Lean la prioridad no sea la reducción inmediata en costos o en tiempos en operaciones individuales ya que esto sería buscar resultados cortoplacistas, sino se debe buscar mejoras en cuanto a la confiabilidad de la programación y sus implicancias en la reducción de inventarios, estos elementos se controlan con los indicadores PPC (Porcentaje de Plan Cumplido) y TVA ("Tiempo de Valor Agregado") y son ellos los que deben acaparar la mayor atención por parte del equipo del proyecto.

CAPITULO VI: PROPUESTA DE INNOVACIÓN TECNOLÓGICA

6.1 INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO (I+D)

Este acápite se limitará a mostrar las ventajas de aplicar la técnica TRIZ para la obtención de ideas innovadoras a limitaciones tecnológicas del proceso constructivo. Entre las limitaciones inherentes al nivel de la tecnología de construcción más importantes se encuentran:

- ✓ Tiempos Contributorios por espera de retroceso de volquetes hacia la tolva de la esparcidora
- ✓ Falta de precisión en el nivelado con motoniveladora (el método visual es impreciso)
- ✓ Incertidumbre en el grado de compactación del rodillo, el cual se comprueba mucho después de finalizar la operación con el riesgo inherente de no cumplir las especificaciones

Sólo se utilizará la técnica TRIZ para brindar una solución conceptual al primer problema y demostrar la aplicabilidad que posee, luego se puede diseñar un prototipo y así mejorar el nivel tecnológico existente: Para poder reducir el problema de tiempos contributorios de la esparcidora, sería necesario aumentar la capacidad de los volquetes con el objetivo de reducir la cantidad total de estos. Esta solución **es imperfecta** pues traerá consigo problemas como la mayor dificultad al operar volquetes más grandes, lo cual además compromete la seguridad (en curvas con gran peralte aumentan los riesgos). La contradicción técnica buscada sería: **“para mejorar la pérdida de tiempo producto de los volquetes (parámetro 25), se debería reducir la conveniencia de los mismos (parámetro 31)”**, esto se ingresa en la matriz de contradicciones (ver tabla 6.1)

Tabla 6.1 Matriz de contradicciones (elaboración propia)

Parámetros que pueden mejorar	PARÁMETROS INGENIERILES	31. Daños como efectos laterales desarrollados por el objeto	32. Posibilidad de fabricación	33. Conveniencia de uso	34. Posibilidad de reparación
	24. Pérdida de Información	10,21 22	32	27,22	
	25. Pérdida de Tiempo	35,22 18,39	35,28 34,4	4,28 10,34	32,1 10
	26. Cantidad de Sustancia	3,35 40,39	29,1 35,27	35,29 10,25	2,32 10,25
	27. Confiabilidad	35,2 40,26		27,17 40	1,11

Principios de Resolución	4. Asimetría	10. Acción Previa
	28. Reemplazo de un sistema mecánico	34. Desechar o Regenerar partes

Utilizando los principios inventivos se puede determinar soluciones conceptuales para el problema específico, en las figuras siguientes se muestra una posible interpretación de los 4 principios inventivos que otorga la matriz al aplicarlos al problema y un esquema gráfico que ilustra lo ideado (ver tabla 6.2 y figuras 6.1, 6.2, 6.3 y 6.4)

Tabla 6.2 Soluciones específicas (elaboración propia)

Número	Principios Inventivos	Descripción de la solución general	Solución Específica
4	Asimetría	- Reemplazar una forma simétrica con otra asimétrica - Si un objeto es asimétrico, aumentar el grado de asimetría	- Desarrollar un método de descarga de material desde el otro carril (de costado), así cuando el volquete del carril donde se encuentra la esparcidora se agote, no se pierda el tiempo esperando a otro volquete
10	Acción Previa	- Efectue todas o cada una de las partes anticipadamente - Arregle los objetos tal que puedan ir en acción desde un tiempo o posición conveniente	- Incorporar un almacén a la esparcidora tal que se pueda descargar material granular mientras se está esparciendo - Posicionar al siguiente volquete en el lugar más cercano a donde el previo terminará de descargar (dando el espacio para maniobras de salida de este)
28	Reemplazo de un sistema mecánico	- Reemplace un sistema mecánico por otro sensorial (óptico, acústico u olfatorio) - Reemplace campos: estacionarios por móviles, fijos por intercambiables, aleatorios por estructurados	- La descargar de material se desarrolla normalmente con ayuda del campo gravitatorio (fijo), se podría mejorar la productividad al incorporar un campo de aceleración variable que permita descargar desde distancias más grandes
34	Desechar o regenerar partes	- Después de que ha completado su función, desechar el elemento del objeto - Inmediatamente restaurar cualquier parte de un objeto, el cual se ha agotado	- Alimentar la tolva del volquete inmediatamente este terminó de descargar (este podría ser descargado desde otro volquete o de un almacén móvil)

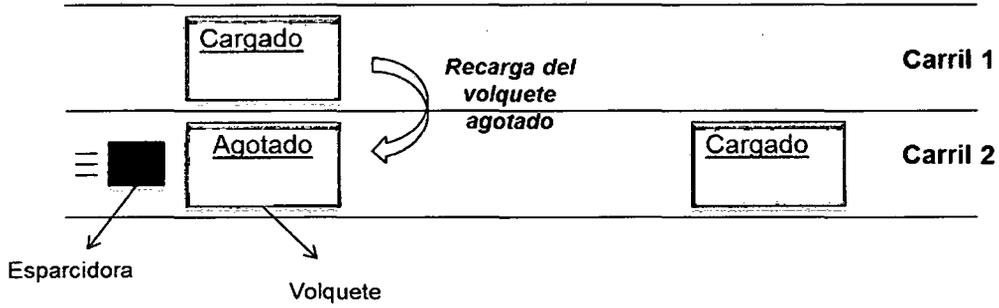


Figura 6.1 Aplicación del principio de la Asimetría (elaboración propia)

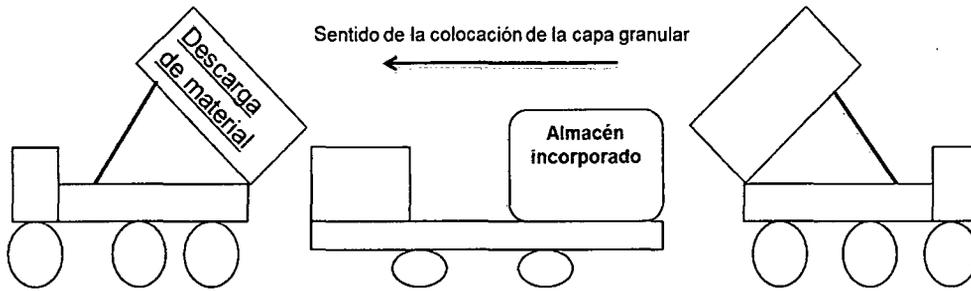


Figura 6.2 Aplicación del principio de la Acción Previa (elaboración propia)

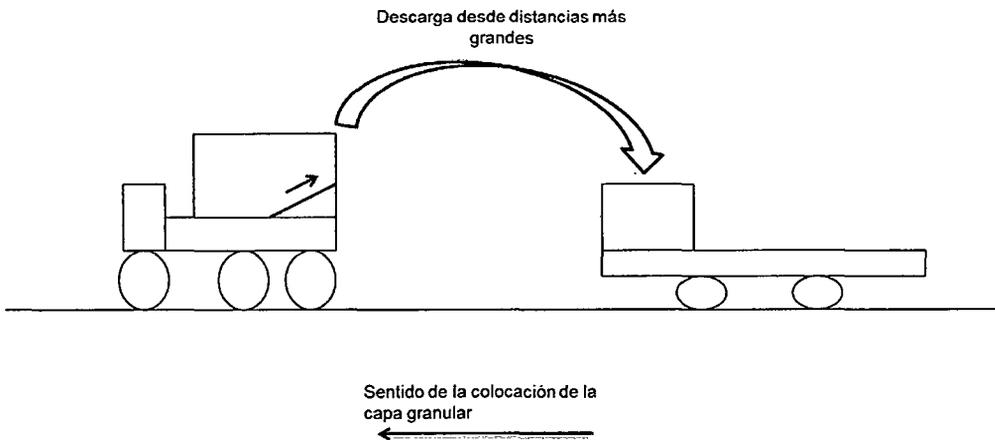


Figura 6.3 Aplicación del principio del reemplazo de un sistema mecánico (elaboración propia)

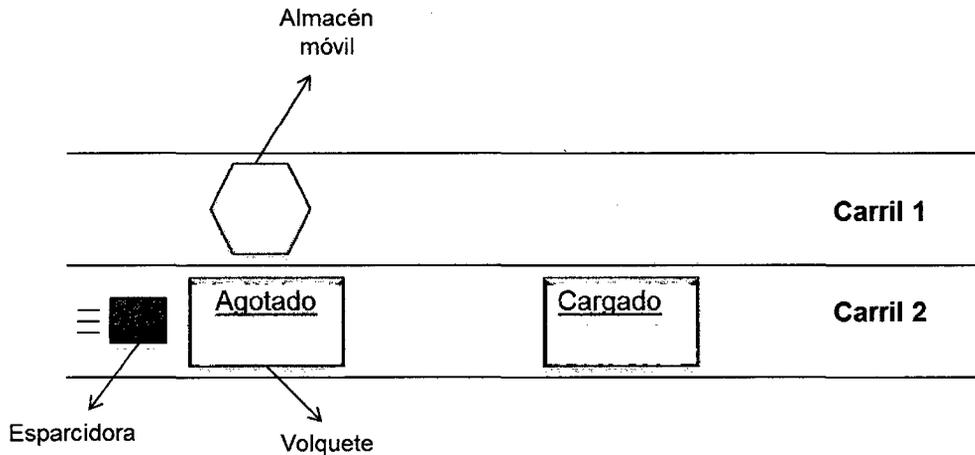


Figura 6.4 Aplicación del principio del reemplazo de desechos o regenerar partes (elaboración propia)

Finalmente se toma en cuenta las ideas más convenientes para integrarlas en una solución, se propone el desarrollo de un almacén móvil entre los volquetes y la esparcidora que pueda descargar sin necesidad de hacer uso del campo gravitatorio. Para los alcances de la presente tesis sólo se muestra una solución a nivel conceptual, no se profundizará en diseños ni prototipos más detallados (ver figura 6.5)

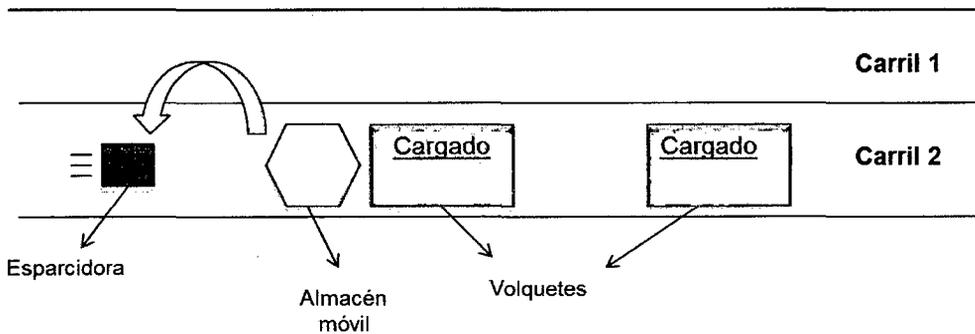


Figura 6.5 Solución integrada (elaboración propia)

6.2 BENCHMARKING TECNOLÓGICO

En esta parte se debe realizar la detección de oportunidades tecnológicas que permitan mejorar la productividad en los procesos productivos. La búsqueda incluyó diversas fuentes (tanto comerciales como no comerciales) como congresos relacionados a ingeniería de pavimentos, universidades, fabricantes de equipos, información de los departamentos de transporte de Texas y de Florida (EEUU), e inclusive un contratista similar (otra empresa estaba ejecutando los 50 km

siguientes de la carretera Ayacucho - Abancay). Cabe indicar que las fuentes más prolíficas fueron el departamento de transporte de Texas y la universidad de Purdue, ambos entes poseen divisiones encargadas específicamente a la identificación y estudio de tecnologías emergentes y en crecimiento con mucho potencial a futuro, en los anexos se adjunta el listado completo de las fuentes de investigación tecnológica. Se aclara que el objetivo no es seleccionar una tecnología superior sino estar al tanto con los nuevos desarrollos tecnológicos para identificar oportunidades de mejora.

A continuación se contrasta el resultado de la búsqueda con la tecnología de construcción actual para así identificar de manera cualitativa la brecha existente (ver tabla 6.3)

Tabla 6.3 Benchmarking tecnológico (elaboración propia)

Tecnología de Construcción actual		Tiempo de utilización	Tecnologías emergentes y en crecimiento	Ventajas de la innovación
Método constructivo	Se compone de 5 procesos constructivos: - Dosificación en planta - Transporte - Colocación in-situ - Conformación en pista - Compactación en pista	Desde el 2010	Método Kompaktasphalt: - Colocación y compactación en pista de 2 capas al mismo tiempo	Reduce plazos al colocar 2 capas al mismo tiempo, evitando la compactación entre capa y capa
			Trabajos de pavimentación durante épocas de lluvia: - Uso de cobertores móviles para evitar deterioros producto de precipitaciones	Evita sobrecostos de reparación por deterioro en caso de precipitaciones y acorta los plazos
Equipos*	Dosificado de materiales granular al volumen y en planta industrial	Desde el 2010	No se encontró avances considerables al respecto	-
	Esparcido y conformado de capas mediante esparcidora con control visual de cotas y anchos	Más de 20 años	Vehículos de transferencia	Elimina la segregación y permite aumentar el avance de la pavimentadora
	Esparcido y conformado de capas mediante esparcidora con control visual de cotas y anchos	Desde el 2010	Pavimentadoras con capacidad de compactar y con sistema de posicionamiento, guiado y control de maquinaria	Mejora la precisión en el acabado de las capas granulares
	Nivelado con motoniveladora, plantillas y control visual de cotas	Más de 20 años	Motoniveladoras con sistema de posicionamiento, guiado y control de maquinaria	Incrementa la productividad al reducir dramáticamente el número de pasadas
	Compactación vibratoria con rodillos de 12 Ton con incertidumbre de calidad	Más de 20 años	Compactación inteligente	Permite identificar las zonas con menor grado de compactación
* Se consideró como innovación a equipos con nuevas funciones y no a nuevas versiones de modelos ya existentes				
Materiales	Material proveniente de canteras aledañas el cual es dosificado en planta	Desde el 2010	Pavimentos reforzados con geotextiles	Las propiedades mecánicas de las geomallas permiten reducir los espesores de las capas
Mano de Obra	Cuadrilla típica formada por: jefes de grupo, operarios, operadores, oficiales y ayudantes	Más de 20 años	Operadores de más de un equipo (múltiples)	Permite disminuir el tamaño de la cuadrilla
Herramientas	Inspección, medición y ensayo (IME)	Desde los años 90 se estandarizó el uso de los IME en la organización	Equipo para medición de deflectometrías y CBR en tiempo real	Permite la detección temprana de problemas estructurales en el pavimento
	Viga Benkelman Densímetro nuclear		Control de compactación en tiempo real	Sensores que permiten medir el grado de compactación durante el proceso constructivo

"Aplicación de las metodologías Construcción sin Pérdidas e Innovación Tecnológica para la mejora de la productividad en procesos de pavimentación"

De la tabla anterior se observa que no obstante el método constructivo con planta dosificadora y esparcidora en pista es un método innovador de colocación de capas granulares, la mayoría de las tecnologías utilizadas se encuentran en estado de madurez, sobre todo en equipos de nivelado y compactación, lo cual es evidenciado por el tiempo que se lleva utilizando la misma tecnología sin cambios considerables. A pesar de las constantes actualizaciones de los equipos (nuevos modelos con mayor potencia y control), el método de nivelado visual con plantillas y la compactación con incertidumbre siguen manteniéndose y por lo tanto las medidas de mejora continua sugeridas (cambio del método de trabajo, reducción de tiempos muertos, etc.) ayudaran a incrementar la productividad pero sus aportes serán limitados no pudiendo asegurar por si solas la competitividad pues la tecnología ya ha llegado a su techo.

Entonces, existe gran potencial de mejora basado en adquisición de nuevas tecnologías, las 2 innovaciones más prometedoras son los vehículos de transferencia cuyo uso ya está normado en las especificaciones del departamento de transporte de Texas (tecnología en crecimiento) y el posicionamiento, guiado y control de equipos de movimiento de tierra y excavación lo que representa un avance en la **automatización de los procesos constructivos**, esta tecnología utiliza sistemas de sensores (sónicos, láser, GPS y estación total) para reemplazar el clásico método visual de nivelación, una de las empresas constructoras más grandes del mundo (Skanska) ya estandarizó este sistema sus procesos constructivos y en nuestro medio la constructora alemana Cheves (contratista responsable de la Central Hidroeléctrica del mismo nombre) utiliza equipos de excavación guiados por láser a tal extremo que considera el equipo inoperativo si el sistema no funciona. Por lo tanto, al reemplazar las tecnologías maduras actualmente en uso en los procesos productivos por nuevas tecnologías emergentes y en crecimiento se puede llegar a la frontera de productividad que la tecnología ofrece actualmente. A continuación se describen brevemente algunas de las tecnologías para un mayor entendimiento.

✓ Vehículos de Transferencia:

Son unidades móviles que almacenan material (generalmente asfalto) para su remezcla descarga sobre las pavimentadoras, la capacidad del equipo permite que los volquetes descarguen rápidamente y vuelvan inmediatamente a la planta con

los consiguientes ahorros de tiempo. Además la tolva remezcla al material descargado lo que disminuye en gran medida el riesgo de segregación. Su uso es muy difundido en la colocación de asfalto en caliente (ver figura 6.6).



Figura 6.6 Vehículos de Transferencia de material (tomado de <http://es.roadtec.com/>, visita realizada el 15 de febrero del 2014)

✓ Compactación inteligente:

La base de estos sistemas son sensores electrónicos que se instalan en los rodillos los cuales miden en tiempo real la rigidez de una zona compactada, estos se transmiten a través de una interface en la cabina del operador por lo que es fácil localizar las áreas con menor grado de compactación, de esta manera se evitan realizar doble trabajos y daño sobre el material en capas que ya están compactadas y además permite aumentar la confiabilidad de la calidad que tiene el producto terminado (ver figura 6.7)

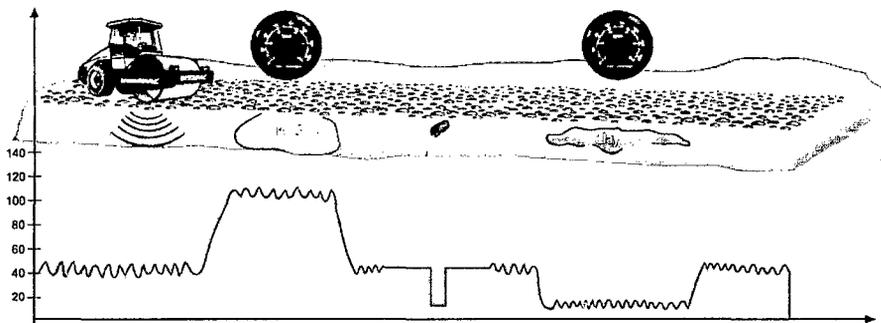


Figura 6. 7 Compactación inteligente (tomado de <http://www.dynapac.com/>, visita realizada el 20 de febrero del 2014)

✓ Sistemas de posicionamiento, guiado y control de maquinaria:

El método constructivo actual del pavimento se guía del buen trabajo realizado en las capas inferiores y del control del espesor mediante escantillones y cuerdas, estos últimos métodos no sólo no son confiables por los errores propios de percepción del operario encargado sino que también actúan de manera correctiva dejando de por sí defectos en tramos antes de ajustar los niveles de espesor mientras que el concepto de calidad actual se basa en la prevención de riesgos de no cumplimiento de las especificaciones técnicas. En la figura 5.10 se muestra la dificultad de controlar las cotas de rasante terminada mediante escantillones y se puede notar que no sólo permitirá reducir el número de pasadas de corte y refinado sino que también permitirá reducir el desperdicio de material granular ver figura 6.8).

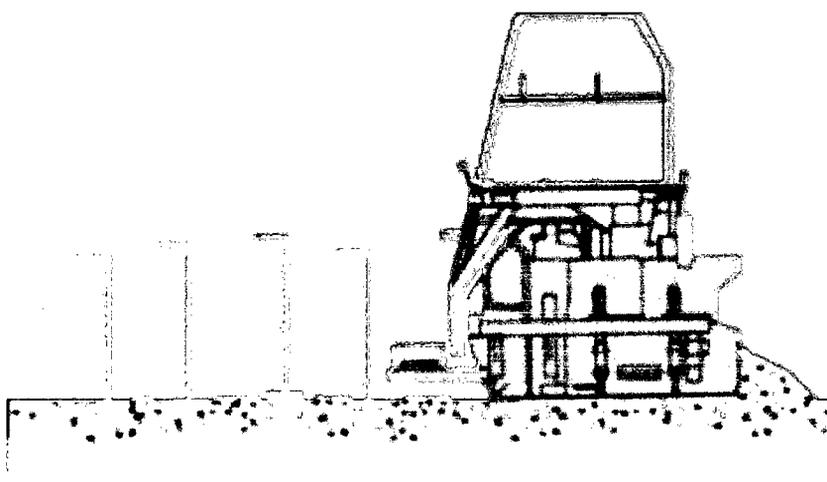


Figura 6.8 Control del espesor mediante Escantillones (tomado de <http://www.moba.de/es/componentes.com>, visita realizada el 22 de febrero del 2014

Para superar este problema se tiene la alternativa tecnológica que representan los sistemas de nivelación, estos son independientes de la marca del equipo pues se adhieren a los sistemas automático e hidráulico sin mayores inconvenientes- Existen 2 grupos de sensores distintos: los sistemas 3D que trabajan con dispositivos que procesan coordenadas topográficos previamente establecidos y con ayuda de equipos de posicionamiento y los 2D que se guían de referencias existentes mediante técnicas de sonido y láser. A continuación se describe brevemente cada uno de ellos:

Sensores Sónicos:

Se utiliza un sensor ultrasónico para mantener la hoja en el caso de una niveladora, o de la regla en el caso de una esparcidora, a la misma distancia vertical en relación con una referencia exterior, como una cuerda, un bordillo o una protección lateral de una carretera. El sistema realiza automáticamente los ajustes de la altura de la hoja que normalmente eran realizados por el operador. El operador únicamente debe dirigir la máquina para que el sensor se mantenga sobre la referencia exterior a seguir. Así se evitan los errores provocados por las variaciones de nivel en las capas inferiores (ver figura 6.9)

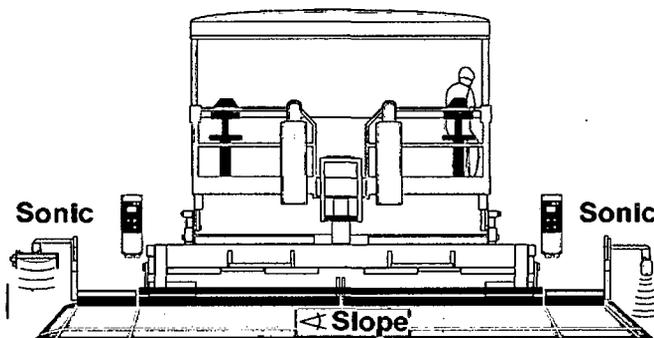


Figura 6. 9 Instalación de sensores en pavimentadoras (tomado de www.moba.com, visita realizada el 22 de febrero del 2014)

Sistema Láser:

Como su nombre lo indica, este sistema controla el nivel de la superficie de trabajo mediante la transmisión y recepción de señales láser. Los sensores instalados en el equipo crean un plano de referencia donde se indica la posición relativa de la cuchilla con respecto a la pendiente buscada. Posee gran precisión pero su aplicación está limitada a trabajos con pendiente única y de poca extensión como campos deportivos, parcelas, estacionamientos, etc.

Control con GPS

El sistema incluye la tecnología digital trayendo consigo nueva ventajas que facilitarán las operaciones de producción: por ejemplo se evita la señalización del terreno mediante plantillas con el consecuente ahorro de tiempo, evita controles

posteriores al trabajo y además puede utilizarse en casi todos los equipos involucrados en movimiento de tierras como Bulldozers y Excavadoras. La información es previamente cargada en la base de datos del equipo otorgándole al operador mayor control sobre su trabajo.

Control con Estación Total

La idea principal detrás de este sistema es controlar a detalle cada movimiento del equipo con la precisión milimétrica que la estación total es capaz de brindar. Esta se encarga de medir instantáneamente los datos altimétricos que se deben seguir e interactúa con los sensores que tiene instalado el equipo logrando así una muy buena precisión. Dada su eficacia es recomendable para trabajos superfinos (ver figura 6.10)

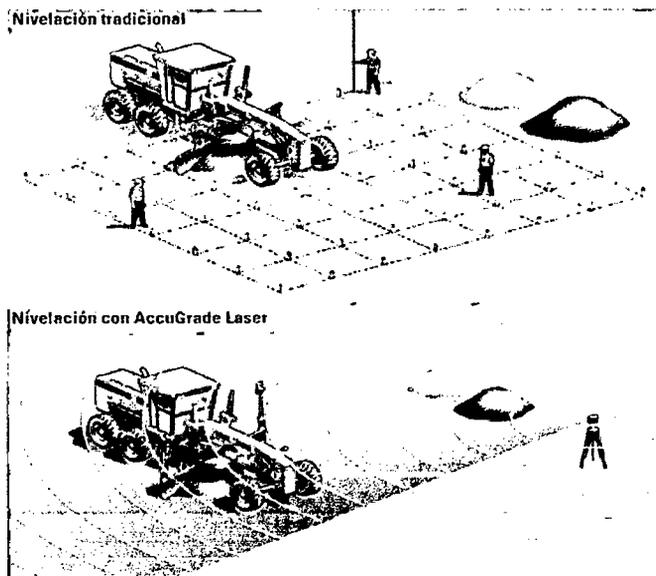


Figura 6. 10 Imagen del sistema con estación total (tomado de www.cat.com, visita realizada el 24 de febrero del 2014)

6.3 JERARQUIZACIÓN DE OPORTUNIDADES DE MEJORA

Se han identificado más de 10 posibles alternativas tecnológicas con mucho potencial, pero, se debe seleccionar sólo aquella(s) que esté lo suficientemente desarrollada (se debe evitar adquirir tecnologías emergentes con problemas aún por resolver) y que tenga la mayor probabilidad de generar beneficios al ser incorporada. Para ello, primero se recurrirá al diagrama de Pareto y al estado actual

del flujo de valor de la producción con la finalidad de identificar la tecnología de mayor incidencia y las actividades dentro del proceso que poseen mayores dificultades. Posteriormente, en el estudio de viabilidad se buscarán antecedentes de utilización de la tecnología y se iniciará contacto con potenciales proveedores con el fin de determinar si la tecnología posee suficiente grado de desarrollo y aplicabilidad. En este punto, se podría parametrizar el modelo de madurez de Foster explicado en el marco teórico para una evaluación cuantitativa del nivel tecnológico actual con el fin de determinar la(s) tecnología con mayor necesidad de cambio, pero esto va más allá del alcance de la presente tesis y es más conveniente de aplicar de manera general a proyectos y organizaciones y no a procesos constructivos aislados, por lo que sólo se evaluará la conveniencia de manera cualitativa.

En el capítulo 4 se presentó un análisis de los procesos constructivos y del flujo de producción, el cual permitió identificar que los equipos son el recurso con la mayor incidencia (67% aproximadamente) en el costo unitario y además que son también los equipos los que se encargan de todo el trabajo productivo puesto que las operaciones involucran movilizar grandes volúmenes de material granular. Por lo que, si se **mejora la productividad de los equipos** se obtendrán mayores ganancias que al innovar en el resto de aspectos. Además, es conveniente recordar que los equipos de nivelado y compactación tenían menor rendimiento que los de esparcido y compactación inicial por lo que si se incorpora innovación que no esté relacionada con estos procesos se podrían generar mayores inventarios y además los equipos de nivelación y compactación son los de mayor tiempo de uso en los procesos constructivos sin grandes cambios tecnológicos. La tabla 6.4 muestra los criterios utilizados para la selección de alternativas y su importancia.

Tabla 6.4 Prioridad de adquisición de innovaciones tecnológicas (elaboración propia)

Tecnologías emergentes y en crecimiento		Prioridad	Criterio
Método Constructivo	Método Kompaktasphalt: - Colocación y compactación en pista de 2 capas al mismo tiempo	Baja	- El método Kompaktasphalt es más conveniente para autopistas de más de 4 carriles pues requiere de 4 pavimentadoras
	Trabajos durante épocas de lluvia: - Uso de cobertores móviles para evitar deterioros producto de precipitaciones	Alta	- El uso de cobertores es prioridad en la organización y actualmente se viene desarrollando otra tesis de investigación para implementarlo
Equipos	Vehículos de transferencia	Media	No sería conveniente pues el avance diario del esparcido aumentaría siendo necesario incorporar más equipos de refinado, es mejor si se innova primero en la tecnología del refinado y compactación y luego e incorpora un vehículo
	Pavimentadoras con capacidad de compactar y con sistema de posicionamiento, guiado y control de maquinaria	Alta	Mediante estos sensores, la productividad de la motoniveladora mejoraría pues se existiría mayor precisión en el acabado además se prescindiría de la compactación inicial y se puede trabajar de noche
	Motoniveladoras con sistema de posicionamiento, guiado y control de maquinaria	Alta	Mejoraría la productividad de la motoniveladora y se podría trabajar de noche evitando deterioros y aprovechando el óptimo contenido de humedad
	Compactación inteligente	Alta	Se mejoraría la productividad de los rodillos al disminuir pasadas y defectos
Materiales	Pavimentos reforzados con geotextiles	Media	Se podrían reducir costos, pero debido al tipo de contrato de los proyectos de carreteras se debe generar propuestas de ingeniería de valor antes de iniciar la ejecución para un mayor beneficio
Mano de Obra	Operadores de más de un equipo (múltiples)	Bajo	No representa ventajas pues los equipos funcionan al mismo tiempo, es más conveniente para obras subterráneas (túneles)
Herramientas	Equipo para medición de deflectometrías y CBR en tiempo real	Media	Es importante pues permite evitar el defecto de mayor impacto económico (implica remover totalmente la capa) pero las medidas de aseguramiento de calidad actuales han probado ser eficientes pues no se han reportado casos de este tipo
	Control de compactación en tiempo real	Alta	Se mejoraría la productividad de los rodillos al disminuir pasadas y defectos (viene incorporado con el rodillo)

Las 3 alternativas resaltadas son las más convenientes para su aplicación en los procesos constructivos en estudio. Una vez seleccionadas, se debe especificar con mayor detalle la innovación tecnológica (características técnicas, de funcionamiento, etc.) mediante la búsqueda de fabricantes, proveedores y además indagar antecedentes documentados de uso.

6.4 DETALLE DE SOLUCIONES TECNOLÓGICAS Y PROVEEDORES

Para realizar la evaluación respectiva es necesario buscar las marcas disponibles de los productos en el mercado, los resultados se muestran debajo en la tabla 6.5.

Tabla 6.5 Alternativas Tecnológicas disponibles (elaboración propia)

Item	Actividad	Tecnología seleccionada	Producto disponible en el mercado	Marca
1	Nivelado y Refinado	Pavimentadoras con sensores (sónicos y/o láser) y con capacidad de compactar	Instalación de sensores (sónicos y/o láser) en pavimentadoras	Trimble, MOBA, Topcon y Layca
			Pavimentadoras con sensores y que realizan pre-compactación a las capas	VOGELE
2	Nivelado y Refinado	Equipos de movimiento de tierra con guiado láser y GPS	Motoniveladora con Sistema de sensores sónicos y láser "Accugrade TM - 2D"	Caterpillar
3			Motoniveladora con Sistema de sensores GPS "Accugrade TM - 3D"	Caterpillar
4	Compactación	Utilizar ondas electromagnéticas que permitan controlar el grado de compactación en tiempo real	Instalación de sensores a rodillos y rodillos Bomag Variocontrol	BOMAG y Trimble

Se recalca que se evalúa las actividades relacionadas al nivelado, refinado y compactación puesto que son en estas en donde se añade menor valor a todo el flujo de producción de acuerdo al estudio realizado. Aquí se puede comprobar que la innovación (tecnológica en este caso) debe ir de la mano con los principios de mejora continua y calidad, según estos principios se debe tomar en cuenta todo el flujo de producción y no sólo cada actividad individual, esto es fácil de identificar en el hecho de que innovar en el esparcido serviría de muy poco pues sólo causaría mayor inventario y el desempeño total seguiría siendo pobre.

6.4.1 Sistemas de Nivelación

En el cuadro 6.6 Se muestran los tipos de sistemas de nivelación que existen actualmente, por lo general las compañías dedicadas a la fabricación de equipos de topografía y sistemas de posicionamiento (TOPCON, TRIMBLE y LAYCA) son las que desarrollaron este tipo de tecnología.

Tabla 6.6 Sistemas de Nivelación en el Mercado (elaboración propia)

	Tipo	Sistema	Aplicación	Productos en el mercado
Sistemas de Nivelación	2 Dimensiones (longitudinal)	Sónico	Motoniveladoras, Pavimentadoras y Bulldozers	MOBA G176 Plus, Trimble Paver Control PCS400
		Láser Medición de Peralte	Motoniveladoras	MOBA S176 Plus
	3 Dimensiones	Control con GPS Control con Estación Total	Motoniveladoras, Bulldozers, Excavadoras, Pavimentadoras	Topcon Paver Control System, MOBA-matic, Leyca PaveSmart 3D Trimble Paver control PCS 900

6.4.2 Sistema Accugrade™ de Caterpillar

El sistema Accugrade™ consiste en la adecuación de todos los sistemas descritos anteriormente a equipos de corte fabricados por Caterpillar (motoniveladoras, bulldozers, etc). La ventaja que los equipos ya poseen los elementos mecánicos, hidráulicos y electrónicos necesarios para mejorar la interacción con los sensores y su desempeño. Se presentan en las siguientes versiones:

6.4.3 Terminadoras de carpeta asfáltica VOGELE

La tercera opción es reemplazar el método constructivo mediante la incorporación de las terminadoras (finisher) VogeLe. Estos equipos combinan las funciones de una esparcidora con las de nivelación, ya que tiene incorporado sistemas de guiado y control con sensores sónicos (como los ya descritos), además posee la capacidad de brindar pre-compactación a las capas. Se toma en consideración que este equipo posee orugas, sus rangos de potencia y maniobrabilidad son mayores en comparación con la esparcidora Blaw Knox usada en el proyecto (ver figura 6.11)

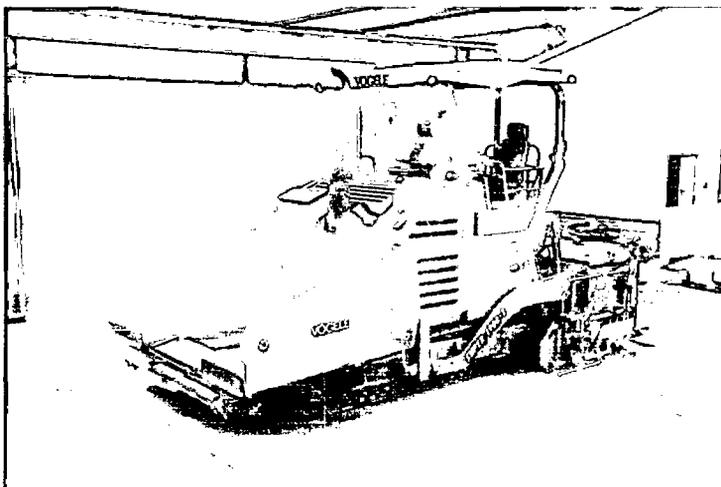


Figura 6.11 Terminadora de áridos VogeLe (tomado de www.vogele.com, visita realizada el 27 de febrero del 2014)

6.5 ALTERNATIVAS POSIBLES

Conocida la tecnología de construcción disponible y con ayuda del departamento de compras y logística de la empresa se procedió a la búsqueda de proveedores especializados para la cotización respectiva y además para conocer sus opiniones y sugerencias respecto al problema planteado, estas luego se contrastaron con el criterio del coordinador de innovación de la empresa COSAPI y con ingenieros con experiencia en carreteras para definir las alternativas a evaluar. A continuación se detalla las 3 opciones que resultaron ser más convenientes a priori:

6.5.1 Alternativa 1

Incorporar sensores de nivelación a la esparcidora de áridos Blaw Knox que se viene utilizando regularmente con la finalidad de incrementar la precisión en el nivel de base y sub base con la consiguiente reducción de la carga de trabajo de la motoniveladora en el nivelado y su eventual eliminación de la cuadrilla al no requerirse trabajos de acabado si los sensores resultan ser los suficientemente precisos. Al buscar proveedores se encontró dentro del país a los representantes autorizados de las empresas Topcon, Trimble y MOBA. Sin embargo, los primeros, "Geomatic Instruments Corporation", no contaban con el producto en Stock por su escasa demanda en el mercado y SITECH Perú una empresa de FerreyCorp dedicada a soluciones en minería y construcción mediante sistemas Trimble, acababa de iniciar sus operaciones por lo que aún no contaba con los productos solicitados ni el personal de capacitación necesario. MOBA-Perú, en cambio, fue más diligente en cuanto a la resolución de consultas y disponibilidad de los productos. También se consultó con proveedores de México (Machine Control) y España (Remobu) que ofrecen el servicio de venta internacional.

Luego se consultó sobre el o los sistemas más adecuados para el problema en estudio. Los especialistas de cada proveedor coincidieron en que los sistemas en **2D-sónicos**, de gran acogida en Europa, **son los más adecuados** para trabajos de pavimentación en carreteras. El sistema 2D-laser requiere de personal de soporte para trasladar constantemente el sistema pues sólo tiene un alcance de 300m. Los sistemas en 3D por otro lado tienen las siguientes desventajas: el 3D-GPS posee buena precisión en acabado horizontal (anchos) pero es deficiente en cuanto al acabado vertical por lo que requerirá sistemas láser el cual va a necesitar personal

de soporte como se mencionó anteriormente, además la señal puede tener problemas en zonas de mala recepción (considerando que las carreteras se ejecutan en lugares alejados). Los sistemas 3D con estación total en cambio sí son capaces de proporcionar una excepcional precisión horizontal y cotas verticales pero como su propio nombre lo indica requerirán de estación total permanente sin mencionar de que los propios dispositivos del sistema son muy costosos (bordean los \$ 80 000 según el proveedor MOBA), este sistema es mayormente usado en la pavimentación de aeropuertos y es aún una tecnología emergente. Por lo tanto se cotizó sólo sistemas sónicos con los distintos proveedores, la tabla 6.7 presenta el análisis comparativo entre los distintos proveedores encontrados (las cotizaciones se incluyen en los anexos)

Tabla 6.7 Cuadro Comparativo de sensores de nivelación (elaboración propia)

Proveedor	Machine Control -	MOBA - Perú	REMOPU -
	US\$	US\$	US\$
Marca del Producto	TRIMBLE	TRIMBLE	LAYCA
Sistema 2D-Sónico	10,440.0	7,190	15,016.9

1. MOBA incluye en el precio los costos de traslado, y ofrece capacitación gratuita además de tener la mejor oferta económica
2. Machine Control ofrece \$1000 en consumibles (enchufes y conectores)

Según el cuadro 6.6 y los comentarios mostrados se puede concluir que MOBA posee la mejor oferta y por lo tanto será con ese proveedor que se realizarán los análisis posteriores. Vale mencionar que para fines de análisis económico esta alternativa será considerada como si se comprará una esparcidora Blaw Knox PF-1500 (como la usada en el proyecto) del año 2000.

6.5.2 Alternativa 2

La segunda opción es incrementar la capacidad productiva de la motoniveladora al reemplazar el método visual con plantillas utilizado actualmente por el de los sensores sónicos, tal que 1 sola pueda soportar la demanda de trabajo en progreso que deja la pavimentadora, se planteó inicialmente utilizar 2 motoniveladoras con sensores o 1 con sensores y otra normal, sin embargo esto significaría mantener la misma cuadrilla con costos aún mayores, es posible que el rendimiento mayor compense los nuevos costos pero el proveedor indicó que el rendimiento de las motoniveladoras puede mejorar hasta en un 241 % (se adjunta el informe de investigación de CAT en los anexos) por lo que si se tiene más de 1 el rendimiento

sería mayor al esparcido y se incurriría en tiempos muertos por falta de frente perjudicando al sistema completo. Con esta opción la motoniveladora podrá trabajar de noche, disminuyendo el tiempo de exposición de las capas granulares.

6.5.3 Alternativa 3

La última opción es reemplazar el sistema de trabajo actual consistente en una esparcidora y 2 motoniveladoras por la terminadora de áridos Vogele que será adquirida mediante compra de equipo nuevo. Este tiene incorporado el sistema de guiado con sensores sónicos por defecto, la presencia de esta alternativa se justifica por la mayor potencia y el control electrónico que posee sobre las reglas de extendido dando como resultado mayor rendimiento que las esparcidoras Blaw Knox aún si estas tienen instalado los sensores de nivelación y además su capacidad de pre-compactación sella la capa una vez esparcida por lo que la demanda de compactación disminuirá y no se requeriría compactación inicial o sellado. Al sellar la capa al mismo tiempo de esparcir y no necesitar motoniveladora, se puede aprovechar que el material tiene la humedad óptima para realizar la compactación final en la misma guardia disminuyendo el tiempo de exposición de las capas.

A priori podría parecer que este equipo es el más adecuado, sin embargo se debe analizar si los beneficios de productividad lo justifican en comparación con los altos costos de inversión que posee, el cual bordea los US\$ 350 000 (en los anexos se muestra la cotización del equipo)

6.5.4 Otras alternativas

Existe la posibilidad de instalar diferentes combinaciones de sistemas de sensores en ambos equipos, tanto en la esparcidora como en la motoniveladora pero no se tomará en cuenta esta alternativa ya que aún no se tiene la experiencia suficiente y necesaria en los sensores. Por ello tampoco se evaluará la viabilidad de incluirlos en los rodillos. Si luego de implementada la tecnología del guiado y control los resultados obtenidos son satisfactorios, ya -con mayor conocimiento- se puede evaluar la adquisición de la compactación inteligente y sensores para motoniveladoras que trabajan en capas inferiores como la sub rasante.

6.6 ANALISIS DE FACTIBILIDAD DE LAS ALTERNATIVAS

La premisa de este capítulo es incrementar aspectos como rendimiento, calidad y por lo tanto la productividad de los procesos de colocación de base y sub base granular mediante la implementación de alternativas tecnológicas. Pero esta adquisición no es gratuita, se requiere incurrir en costos adicionales como la adquisición de la tecnología, la capacitación respectiva, efectos de la curva de aprendizaje hasta conseguir lo estimado y además existen riesgos al trabajar con sistemas en los que no se tiene mucha experiencia. Entonces, es necesario realizar una evaluación económica que permita estimar aproximadamente los potenciales beneficios así como las viabilidades restantes que fueron mostradas en el marco teórico.

6.6.1 Viabilidades técnica, operacional y política

Con base en las definiciones establecidas en el capítulo 2, se determinaron los factores más relevantes que condicionan la viabilidad de acuerdo a las condiciones de la empresa y del proyecto en estudio. La tabla 6.8 resume el estudio de viabilidad, se puede observar que los mayores inconvenientes se manifiestan en los aspectos técnicos y operativos por la falta de casos de aplicación previos en el medio y la propia incertidumbre de las nuevas tecnologías.

Tabla 6.8 Viabilidad de las propuestas (elaboración propia)

Propuestas		VIABILIDADES				Comentarios
		Técnica	Legal	Operativa	Política	
Incrementar la calidad del sub proceso esparcido mediante la instalación de sensores de nivelación	2D-Sónico	Incompatibilidad entre la esparcidora y los sensores	No hay contradicción entre las EETT contractuales y el sistema propuesto, de hecho los sensores incrementarán la probabilidad de cumplimiento de las EETT	El sistema de sensores MOBA es nuevo para operadores e ingenieros de campo. Pero, es de fácil entendimiento y los proveedores han ofrecido y garantizado capacitación y el servicio de puesta en marcha	La gerencia del proyecto y la dirección corporativa apoyan iniciativas que involucren mejoras tecnológicas	No viable
Adquisición de motoniveladoras con sistema de control de nivelación AccuGrade™	2D-Sónico	La tecnología de sensores de CATERPILLAR no está disponible el mercado	Las EETT del proyecto indican que es posible utilizar motoniveladoras para la ejecución de Base y Sub Base.	El sistema de sensores es nuevo para operadores e ingenieros de campo. Pero, es de fácil entendimiento y los proveedores han ofrecido y garantizado capacitación y el servicio de puesta en marcha	La gerencia del proyecto y la dirección corporativa apoyan iniciativas que involucren mejoras tecnológicas	Ni viable
Reemplazar el proceso constructivo por la terminadora Vogele		El equipo se utiliza para operaciones de concreto asfáltico, el proveedor garantiza que también puede trabajar con agregados gruesos del tamaño típico en capas granulares (ya se realizó en otras empresas)	Las EETT exigen la utilización de esparcidoras en vías de primer orden	El equipo viene siendo muy utilizado para la colocación de mezcla asfáltica por lo que hay disponibilidad de personal de dirección y operativo con conocimiento	El director de proyecto recomendó utilizar la terminadora para el trabajo en estudio	Se podría prescindir de motoniveladoras y sistemas

De acuerdo a la tabla mostrada (6.8), sólo la alternativa 3 es viable en los 4 aspectos ya que no posee dificultades complejas y los problemas detectados se

pueden superar mediante el aprendizaje y la aplicación del ciclo de mejora continua posterior a la implementación.

Sin embargo, las alternativas 1 y 2 **no son viables** debido a la incompatibilidad de los sensores ofrecidos y la carencia del sistema buscado en el mercado respectivamente. Sobre el primer punto se narra que una vez cotizados los sensores el representante de MOBA especificó que el sistema de sensores sónicos necesitan conectarse a la esparcidora mediante un adaptador de 10 pins a cada lado del equipo como se muestra en la figura 6.12, la esparcidora Blaw Knox utilizada en el proyecto en estudio carece de dichos adaptadores dada su fecha de fabricación (2000) no siendo posible la instalación de los sensores. Se podría adquirir algún modelo de esparcidora más reciente e instalar sensores, pero se descartó esta opción pues la tercera alternativa (Pavimentadora Vogele) ya tiene incorporado dicho sistema lo que otorga mayores ventajas operativas.

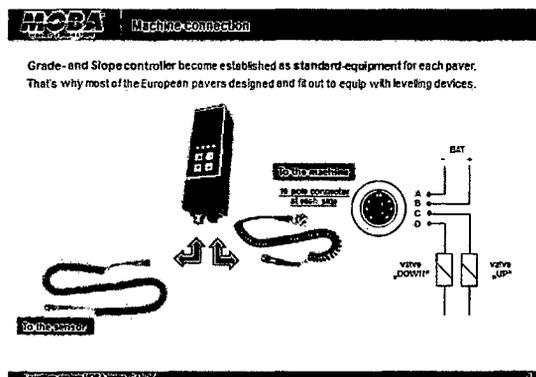


Figura 6.12 Imagen de adaptadores del sistema de sensores sónicos (tomado de www.moba.com, visita realizada el 6 de mayo del 2014)

Respecto a la segunda alternativa (sensores de guiado para motoniveladoras) se conversó con el representante del proveedor quien entregó el brochure respectivo y un informe sobre un estudio comparativo entre el sistema ofertado y el regular (ver adjuntos), pero dicho sistema no se encontraba en stock y no pudo brindar una cotización ya que el producto estaba en proceso de reingeniería y se había detenido la producción de la serie buscada. Dada las limitaciones de tiempo en el desarrollo de la presente investigación se decidió descartar esta alternativa aunque se recomienda tenerla en cuenta para posteriores proyectos y sobre todo en capas inferiores (mejoramientos, sub rasante).

6.6.2 Identificación de riesgos

La línea que separa las matrices de viabilidad e identificación de riesgos es muy delgada e inclusive llegan a coincidir en varios aspectos. Se considerará algunos puntos encontrados en el análisis de viabilidad como potenciales riesgos y para fines de descarte la probabilidad e impacto de los riesgos en cuanto a la rentabilidad asumida y a la puesta en marcha del proyecto de innovación.

Para facilitar la identificación de los riesgos se procedió a integrar la tabla de identificación mostrada en la figura 3.3 “Fuentes de riesgo en la innovación” con los siguientes elementos:

- ✓ Experiencias pasadas con la adquisición de equipos con innovación tecnológica, casos de: Pavimentadora deslizante Power Curber (Cunetera), alisadoras de concreto y Jumbos perforadores Sandvik con guiado láser ISURE DT (experiencia personal del autor)
- ✓ Análisis de Procesos y juicio de expertos: se entrevistó al coordinador de innovación de COSAPI, el Ing. Jefe de oficina Técnica en sede central y el ing. Residente del proyecto en estudio quien posee más de 30 años de experiencia en carreteras
- ✓ Consulta a los proveedores de MOBA y VOGELE

Asimismo se debe agregar que ni siquiera el proveedor está en condiciones de identificar futuras necesidades del nuevo equipo ya que toda innovación tecnológica trae consigo incertidumbre. No obstante ello, la política corporativa de la empresa es apoyar las iniciativas mediante el y capacitaciones, consultorías externas, etc. Siempre y cuando el potencial futuro lo amerite. En ese sentido, el objetivo en esta parte es identificar riesgos cuya mitigación sea tan difícil de lograr en términos de esfuerzo y en términos financieros que inviabiliza a una alternativa determinada. La tabla 6.9 resume los riesgos hallados luego del estudio y la estimación cualitativa de los impactos.

Tabla 6.9 Matriz de riesgos, probabilidad e impacto de las propuestas de innovación (elaboración propia)

TIPO	ITEM	FACTOR / ELEMENTO DE RIESGO	DESCRIPCIÓN DEL RIESGO	PROB. (*)	IMPACTO (**)	IMPORTANCIA	PLAN DE RESPUESTA
TÉCNICO	1	El equipo no puede trabajar con la granulometría del material granular	El tamaño de los agregados puede generar problemas, ya que este equipo se diseñó para asfalto no siendo posible incorporarla a las operaciones	Medio	Severo		Se utilizarán salvaguardas en el contrato de compra, donde se especifique que el equipo ofertado debe satisfacer el requerimiento del contratista (esparcir material granular)
	2	Falta de precisión deseada requerirá refinado posterior (en tramos con gran peralte)	De acuerdo al proveedor, la precisión de los sensores es lo suficientemente buena como para eliminar la necesidad de la motoniveladora; pero, en tramos con gran peralte es posible que se requiera refinado posterior	Medio	Moderado		Se solicitó al proveedor incluir un sensor adicional para inclinación lateral (slope sensor) en la cotización
	3	Rendimientos por debajo de los previsto en el análisis económico	Beneficios por aumento de productividad no justifican la compra	Bajo	Severo		Monitoreo constante luego de la implementación para determinar problemas que impiden obtener los objetivos
	4	Aumento del avance de capas esparcidas requerirá de mayor número de rodillos	Para compensar el mayor avance de la esparcidora se requerirá mayor número de rodillos disminuyendo los beneficios económicos	Alto	Moderado		Será necesario incluir 1 rodillo adicional a la cuadrilla propuesta para mitigar posibles desbalances y luego de estandarizar el uso de los sensores de la pavimentadora Vogele, se cotizará el sistema de compactación inteligente
DE LA ORGANIZACIÓN	5	Falta de proyectos de pavimentación	El equipo generaría sobrecostos por Stand-By si la organización no tiene proyectos en donde utilizar el equipo	Bajo	Moderado		De darse el caso, se debe alquilar el equipo a otras empresas
EXTERNO	6	Defectos y deterioros que requerirán escarificado y reconformación de la capa	Deterioros de la capa (condiciones climática) luego del esparcido obligarán a reconformar y la pavimentadora no es capaz de realizar esta operación	Medio	Moderado		Ante la posible necesidad de refinado, se debe considerar al menos 1 motoniveladora en la cuadrilla propuesta
DIRECCIÓN DE PROYECTOS	7	No utilización del sistema por desconocimiento o uso incorrecto	La cuadrilla no utiliza el sistema o lo utiliza deficientemente porque no tiene el conocimiento ni la experiencia suficiente, lo cual no permite obtener los beneficios potenciales	Alto	Severo		Se requerirá el servicio de puesta en marcha por parte del proveedor seleccionado así como la respectiva capacitación
	8	Resistencia de las cuadrillas al cambio	No utilización de la nueva tecnología por parte de las cuadrillas	Alto	Severo		Dentro del plan de implementación, se incluirán incentivos hasta asegurar el uso correcto y constante de la innovación tecnológica

Existen 2 riesgos (ítems 7 y 8) que pueden comprometer los objetivos del proyecto de innovación pues impedirán la utilización de los mismos. Estos tendrían un impacto severo de ocurrir y están referidos a la no utilización del sistema por desconocimiento y la resistencia al cambio de las cuadrillas, pero pueden ser mitigados con programas de capacitación, incentivos y monitoreo constante de la curva de aprendizaje.

Los riesgos identificados restantes son factibles de mitigar mediante técnicas de gestión (salvaguardas en los contratos de compra, uso de buffers, etc.) e investigación posterior, algunos riesgos se detallan a continuación:

- ✓ Defectos y deterioros que requerirán escarificado y reconformación de la capa: Lo buscado es eliminar completamente el nivelado posterior al esparcido con lo que ya no se requeriría utilizar motoniveladoras, sin embargo es posible que la inexperiencia en el uso de los sistemas sumado al deterioro por condiciones ambientales y demoras en la liberación de frentes conducirán a la necesidad de conformar y/o nivelar las capas, si no se dispone de una motoniveladora de respaldo en la cuadrilla tendría que movilizarse una de algún otro frente con

todos los problemas que eso acarrearía (transporte excesivo, tiempos improductivos, etc.). Por lo tanto, es necesario incluir al menos 1 motoniveladora en las cuadrillas propuestas

- ✓ Rendimientos Obtenidos por debajo de lo previsto: Los potenciales beneficios de la implementación de la alternativa se basan en la disminución de recursos a necesitar y sobre todo en el aumento del rendimiento de avance por jornada que permitirá obtener ahorros en el costo unitario, sin embargo se corre el riesgo de no alcanzar el rendimiento previsto, entonces será necesario conocer el punto de equilibrio¹⁶ de las alternativas y considerar que el equipo puede ser utilizado (o alquilado) para operaciones de colocación de asfalto si es que no se alcanza el rendimiento mínimo luego de un periodo de tiempo razonable.
- ✓ El equipo no puede trabajar con la granulometría del material granular: este riesgo nació a partir de una experiencia pasada en la que se intentó esparcir mezcla de suelo-cemento con esparcidora lo que terminó en pobres resultados, considerando además que la esparcidora Vogeles se diseñó para mezclas asfálticas es posible que no se puedan obtener ventajas operativas; sin embargo, el proveedor aseguró que no habría problemas para material de Base y Sub Base y que inclusive otra empresa contratista ya había esparcido base y sub base con el equipo Vogeles con éxito, por lo tanto se debería negociar una salvaguarda en el contrato respecto a este punto
- ✓ Falta de precisión deseada requerirá refinado posterior (en tramos con gran peralte): es posible que la precisión del sistema no sea suficiente en tramos con peralte pronunciado lo cual llevará a la necesidad de refinar la capa, para ello se contará con la motoniveladora de respaldo ya mencionada y además se evaluará posteriormente la posibilidad de incorporar un sensor de nivelación de peralte, el proveedor de MOBA indicó que poseen un sistema (Big Sonic Ski) que es compatible con los sensores que la pavimentadora Vogeles ya posee instalados.

6.6.3 Evaluación económica

6.6.3.1 Cálculo del costo horario del equipo propuesto

La elaboración del flujo de caja relacionado al análisis de costos y beneficios requiere de la estimación del costo horario del equipo con tecnología innovadora

¹⁶ Punto de equilibrio en este caso se refiere al valor mínimo del rendimiento para el cual el proyecto es rentable

para ello se tomará en cuenta los lineamientos básicos de la norma técnica “Elementos para la determinación del Costo Horario de los Equipos y la Maquinaria del Sector Construcción” del Ministerio de Vivienda (versión del 2010) y para datos más específicos como el consumo de combustible y consumibles se utilizará información del proyecto en estudio, a continuación se muestran el resto de consideraciones para la estimación de la tarifa:

- ✓ Vida económica útil de la pavimentadora : Se considera un horizonte de análisis de 8 años
- ✓ Horas efectivas por año: de acuerdo a la norma, el número de horas aproximado de una pavimentadora al año es 2000, para contrastar este valor se revisó la cantidad de horas máquina previstas del proyecto en estudio que es aproximadamente 1856.7 horas máquina, si se considera al menos 1 proyecto por año (cantidad de proyectos que la empresa ejecuta normalmente), el valor obtenido es similar al de la norma por ello se usará 16000 horas (8 años de 2000 horas cada uno).
- ✓ Forma de depreciación de activos: Será del tipo lineal

En los anexos se muestra el cálculo de la tarifa de la pavimentadora siguiendo la metodología mencionada, cuyo resultado es: S/. 299.4 por hora (incluye combustible).

6.6.3.2 Condiciones de análisis

Para el cálculo de los indicadores de rentabilidad económica (VAN y TIR) se requieren de condiciones iniciales y supuestos:

- ✓ Periodo de análisis: se considera la vida económica útil de la pavimentadora (10 años)
- ✓ Costo de oportunidad¹⁷: 12.93%
- ✓ Datos para cálculo de costos horarios de mano de obra y equipo alquilado: dada la variedad de proveedores en el mercado, el tiempo de antigüedad, y las condiciones geográficas es muy difícil definir valores representativos, por ello se

¹⁷ Valor referencial de GyM, obtenido de Kallpa Securities - Sociedad Agente de Bolsa (fecha: febrero 2013)

considerará las tarifas de mano de obra y equipo alquilado (motoniveladora, rodillo y cisterna) del caso de estudio de la presente tesis

- ✓ Cantidad de proyectos por año: Para fines prácticos de análisis, se considerará 1 carretera por año, de 50 km de alcance que posee el mismo metrado contractual de las capas de base y sub base que el proyecto en estudio, asumiendo que el equipo no tendrá costos por stand-by
- ✓ Escenario inicial: el escenario inicial será el costo unitario del presupuesto del caso en estudio
- ✓ Es importante mencionar que tanto el escenario inicial como el mejorado son comparables puesto que la diferencia (beneficio marginal) se mantendrá independientemente del costo unitario de la partida del proyecto
- ✓ El análisis siguiente se limitará a las actividades de esparcido, nivelado y compactación de sub base granular

Se deja en claro nuevamente que la gran diversidad de condiciones de los proyectos de carreteras en el territorio nacional dificulta la realización de un análisis de costos y beneficios, por ejemplo las tarifas de equipos de alquiler son variables, así como los rendimientos, los ratios de consumo de combustibles, etc. Por ello y para fines prácticos la presente evaluación se basa en el supuesto que todos los 2 proyectos a realizar en el periodo de análisis están ubicados en la sierra peruana y son muy parecidos en alcance y longitud al proyecto en estudio (50 Km). Como ya se mencionó anteriormente, los trabajos de esparcido, nivelado y compactación de base y sub base granular se concentran en una partida presupuestal, con fines ilustrativos se presenta a continuación el desglose de la partida mencionada.

Actual

Partida: 635.A - SUB BASE GRANULAR				M3
95	4520	Material para Base		m3
95	5010	Extendido y Compactado		m3

5010 Extendido y compactado, incluye:

- **Extendido del material granular**
- **Compactación final**

(*) Se estudian todas las actividades relacionadas al extendido:

- Esparcido de base granular
- Nivelado y Refinado
- Compactación
- Otros contributorios (limpieza, transporte, resanes)

20 Mano de Obra

20	101000	Jefe de Grupo Civil	H-H
20	102000	Operario Civil	H-H
20	103000	Oficial Civil	H-H
20	104000	Ayudante Civil	H-H
20	104040	Vigía	H-H
Total Rubro:20 - Mano de Obra			

31 Equipo propio

31	34011230	Esparcidora de suelos Blaw Knox	H-M
31	34011260	Motoniveladora CAT 140 H 185 HP	H-M
31	43028007	Rodillo Vibratorio 12 Ton	H-M
Total Rubro:31 - Equipo Propio			

32 Vehículos

32	52035043	Camión Cisterna 5000 Gl.	H-M
Total Rubro:32 - Vehículos			

Donde el ratio de productividad se calculará con una expresión general:

Ratio MO: $(140/A)$ HH/ml

Ratio EQ: $(14/A)$ \$/ml

Avance diario (jornada de 10hr): "A" ml

6.6.3.3 Nueva cuadrilla propuesta

La alternativa planteada se compone de menor número de recursos y mayor tecnología de construcción por lo que su avance será mayor por lo que se generarán ganancias de la productividad que serán los beneficios a estimar. La cuadrilla propuesta y sus avances proyectados se muestran en la tabla 6.10.

Tabla 6.10 Cuadrilla y avance diario propuesto (elaboración propia)

Recurso	Cant.	Categoría
MANO DE OBRA	1	Jefe de Grupo
	1	Op. Esparcidora
	1	Op. Motoniveladora
	1	Op. Cisterna
	5	Op. Rodillo Compactador
	1	Operario
	2	Oficial
	2	Ayudantes
EQUIPOS	4	Vigías
	1	Esparcidora Vogele Super 1800-3
	1	Motoniveladora CAT 140K
	5	Rodillo de 12 Ton
MAT.	1	Cisterna de Agua 5000 Gln
	gln	Petróleo Biodiesel B-5
	glb	Herramientas (%MO)

Avance diario Sub Base	700 ml/día (1120 m3/día)
Avance diario Base	700 ml/día (845 m3/día)

Tal como se indicó previamente, se incluye 1 motoniveladora como contingencia por si se requiere refinados finales o escarificados debido a deterioros o defectos. También se incluye 1 rodillo adicional debido a que ahora la pavimentadora tendrá mayor longitud de avance, aunque esto se compensa con el hecho de que no se necesitará sellado (compactación inicial) pudiendo compactarse la capa

inmediatamente después de ser esparcida aprovechando de paso que el material posee el óptimo contenido de humedad.

Para la estimación del avance diario, se consultó al proveedor antecedentes de utilización del equipo ya sea en asfalto o en capas granulares. De acuerdo a los representantes de Intermaq SAC, la pavimentadora finisher Vogele por lo general puede obtener avances de más de 2000 m diarios en asfalto debido a la mayor potencia y tracción que el sistema de orugas le proporciona, el proveedor además refirió que en otro proyecto llegaron a esparcir hasta 1600 m de base por jornada, para el presente análisis se considerará un valor más conservador: 700 ml/día para cada capa (1400 ml en total en base y sub base), la razón por la cual ambas longitudes son las mismas se justificó en el capítulo anterior (evitar que una capa se quede sin frente de trabajo o inventarios excesivos), pero es necesario calcular el punto de equilibrio respectivo.

6.6.3.4 Análisis de Costos y Beneficios

Se compararán los costos y beneficios económicos que ambas alternativas tecnológicas proveen durante el periodo de análisis (10 años) con el objetivo de determinar la rentabilidad del proyecto de mejora con innovación, esto se realizará a través del cálculo de los indicadores VAN y TIR en concordancia a la teoría de evaluación de proyectos de inversión. En la siguiente tabla (6.11) se indican los costos de adquisición del equipo y los costos incrementales de operación y mantenimiento.

Tabla 6.11 Costos relacionados al proyecto de innovación (elaboración propia)

Equipo	Costos de adquisición (año cero)	Costos incrementales de operación (por año)
Pavimentadora Vogele 1800-3	1,078,000.0 *	202,512.0 **

* Considerando el tipo de cambio 2.8

** Se adjunta en los anexos el análisis económico detallado

Como se puede observar los costos de adquisición son muy elevados debido al alto costo del equipo, este será compensado por los beneficios económicos

obtenidos por mejora de la productividad en ambas capas con respecto a sus precios unitarios contractuales, la tabla 6.12 muestra los valores numéricos.

Tabla 6.12 Estimación de beneficios del proyecto de innovación (elaboración propia)

Ítem	Costo Unitario Propuesto (\$/m3)	Precio Unitario contractual*	Diferencia (\$/m3)	Metrado total (m3)**	Beneficios (\$/m3)
Sub Base	11.38	17.53	6.2	58524	359,984.42
Base	15.08	22.28	7.2	69902	503,144.09

* Se adjunta en los anexos el costo unitario contractual

** Metrados contractuales del proyecto en estudio (tabla 2.8 del marco teórico)

Se debe aclarar que la tabla 6.12 sólo muestra beneficios debido a mayor avance y menores recursos en equipos y mano de obra, pero también existirán beneficios en el desempeño que son muy difíciles de cuantificar en términos económicos como por ejemplo la reducción del desperdicio de material granular y con ello el transporte y explotación de canteras, además la pavimentadora Vogele al ser más reciente tendrá mayor disponibilidad mecánica y mejorará los niveles de seguridad del proyecto.

Conocidos los costos a incurrir y los potenciales beneficios se genera el flujo de caja para el cálculo de los índices de rentabilidad y del periodo de retorno de la inversión (ver tabla 6.13).

Tabla 6.13 Flujo de Caja para el proyecto de innovación tecnológica (elaboración propia)

Años		Costos	Ingresos	Flujo
0	2014	1,078,000.00	0	-1,078,000.00
1	2015	202,512.00	863,128.51	660,616.51
2	2016	202,512.00	863,128.51	660,616.51
3	2017	202,512.00	863,128.51	660,616.51
4	2018	202,512.00	863,128.51	660,616.51
5	2019	202,512.00	863,128.51	660,616.51
6	2020	202,512.00	863,128.51	660,616.51
7	2021	202,512.00	863,128.51	660,616.51
8	VALOR RESIDUAL		215,600.00	215,600.00

Finalmente, los parámetros buscados serán los siguientes (ver tabla 6.14):

Tabla 6.14 Indicadores de rentabilidad buscados (elaboración propia)

VAN	1,923,219.47
TIR	59%
P. RETORNO	1.64 años
P. DE EQUILIBRIO	560 m

VAN>1 (el proyecto es rentable)

6.7 CONCLUSIONES DE LA EVALUACIÓN

De acuerdo al análisis realizado, se concluye que la alternativa 3 (de incluir el equipo Vogele Súper 1800-3 al pull de equipos) es la más conveniente debido a que satisface todas las viabilidades, su Valor Actual Neto (VAN) es mayor a cero lo que demuestra que generará beneficios económicos por incremento de la productividad y además el tiempo de retorno de la inversión es razonable (poco más de año y medio). Sin embargo, hay que tomar en cuenta es el punto de equilibrio, como ya se mencionó antes este se refiere al rendimiento mínimo que se debe alcanzar para que la alternativa sea rentable (para obtener VAN mayor a cero), el valor resultante es 560 m por día (en ambas capas), esto quiere decir que se debe obtener este avance como mínimo para que la alternativa sea rentable. Además los beneficios de la alternativa se vieron mermados debido a la inclusión de 1 motoniveladora y por la gran cantidad de rodillos, medidas que se tomaron para mitigar los riesgos operativos hallados.

Los 2 inconvenientes señalados (alcanzar el avance mínimo y optimizar el uso de los recursos) así como otros que pudieran aparecer, deberán ser superados mediante la aplicación de los principios de la mejora continua para así garantizar los objetivos de la innovación e inclusive aumentar los beneficios. Será necesario también evaluar los sistemas de compactación inteligente una vez que se estandarice el uso de los sensores en los procesos constructivos. De esta manera se volverá a ingresar en la estrategia general propuesta complementando la mejora continua con la innovación tecnológica.

CAPITULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 CONCLUSIONES

La presente tesis se redactó con el fin de explorar las oportunidades de mejora de la productividad del trabajo en procesos constructivos de pavimentación aplicando 2 metodologías, una a nivel organizativo (Lean Construction) y otra a nivel tecnológico (Innovación Tecnológica) partiendo de la idea que ambos enfoques se complementan entre ellos y también con el sistema de gestión de proyectos que se sigue normalmente en proyectos de construcción (PMI). Durante la investigación, se identificó la necesidad de desarrollar una guía de aplicación práctica de la metodología Lean a nivel productivo pues su formulación teórica es compleja y muy variada. Asimismo, para incorporar la innovación también se requiere de una guía con pasos específicos y aplicación de técnicas apropiadas para el sector construcción. El marco teórico existente en esta materia carece de la profundidad necesaria para una aplicación práctica en proyectos de carreteras y de manera particular en procesos de pavimentación. El estudio busca cumplir con los siguientes objetivos específicos:

- ✓ Elaboración de un marco teórico que resuma el estado del arte existente de las metodologías construcción sin pérdidas (Lean Construction) e innovación tecnológica para el desarrollo de una guía de aplicación práctica a nivel operativo
- ✓ Realizar un diagnóstico del estado actual del flujo de procesos de pavimentación en un caso de estudio, identificando lecciones aprendidas que contribuyan a mejorar la productividad en proyectos posteriores
- ✓ Elaborar propuesta de mejora mediante los principios de la Construcción sin Pérdidas (Lean Construction)
- ✓ Identificar las alternativas de innovación tecnológica más convenientes y evaluar la viabilidad de su incorporación en los procesos constructivos

Las conclusiones de la investigación se muestran a continuación con respecto a cada objetivo específico y en base a los resultados empíricos obtenidos:

✓ **Objetivo Específico 1:**

- a. Es posible complementar el sistema de gestión de proyectos tradicional (PMI) con las metodologías construcción sin pérdidas (Lean Construction) e Innovación Tecnológica mediante la identificación del proceso con los índices de costo, plazo y calidad más desfavorables (proceso crítico o rector)
- b. Las metodologías Construcción sin Pérdidas e Innovación Tecnológica se complementan, ya que la primera permite mejorar el planeamiento a mediano plazo, establecer una línea de producción balanceada y asegurar la calidad del entregable mientras que la segunda posibilita un gran incremento en la eficiencia del trabajo al incorporar nuevas tecnologías
- c. La herramienta Mapa de Flujo de Valor (MFV) es adecuada para la identificación de pérdidas en procesos constructivos repetitivos (caso de capas granulares de pavimentos) y para la posterior implementación y seguimiento de planes de mejora
- d. Toda innovación tecnológica trae consigo riesgos de implementación dada su naturaleza desconocida, razón por la cual debe evaluarse la viabilidad técnica y económica de su incorporación

✓ **Objetivo Específico 2:**

Para este fin se usó el estudio del caso en un proyecto de carreteras localizado en Ayacucho, la recolección de datos se realizó aplicando un enfoque cuantitativo con datos de control del proyecto y estudio del trabajo, los resultados obtenidos fueron:

- a. Se identificó diversos tipos de pérdidas en la construcción de base y sub base granular que no suelen tomarse en cuenta al momento de mejorar la productividad, como por ejemplo: las grandes cantidades de inventario de trabajo en progreso, la variabilidad de producción y re-trabajos.
- b. La innovación tecnológica realizada (uso de esparcidora para colocación de base) no brindaba todos los beneficios de aumento de productividad que podría debido, lo cual se refleja en que los procesos de esparcido poseen buenos indicadores mientras que los de nivelado y compactación poseen parámetros negativos lo cual conlleva a una pérdida de productividad global, esto se debía a la existencia de pérdidas que no habían identificado anteriormente y por lo tanto

no se incluyeron soluciones en el planeamiento del proyecto ni en las operaciones

- c. Las pérdidas de mayor impacto difieren de acuerdo al proceso que se lleva cabo, en el caso del esparcido era la falta de estandarización en la liberación de capas lo que generaba tiempos improductivos y en el caso del nivelado y compactación eran los trabajos ineficientes producto de los defectos y deterioros en las capas
- d. La no estandarización en la liberación de capas era un problema complejo que poseía diversas aristas incluyendo aspectos de calidad (defectos), falta de suficiente personal de las cuadrillas de control de calidad e inventarios excesivos, que ocasiona como consecuencia deterioros

✓ **Objetivo Específico 3:**

- a. Se definieron metas de optimización claras y los métodos como lograrlo, por ejemplo los tiempos muertos por falta de frente en la esparcidora se redujeron del 13.1 % del tiempo total (70 min) a 0, para lo cual se propone mejorar la planificación y estandarizar los tramos de liberación de capas. Estos nuevos indicadores fueron validados por los ingenieros de campo del proyecto.
- b. La estandarización en la liberación de capas requiere de mayor énfasis en los procesos de aseguramiento de calidad, dando prioridad a la prevención de la segregación y deterioro de las capas así como recomendaciones para una compactación más confiable
- c. Para disminuir el desgaste producto de inventarios excesivos, es importante generar un tren de actividades entre las 2 cuadrillas y las 2 capas reduciendo así el lote de producción, pero no es posible eliminar completamente los inventarios, la variabilidad y criticidad de los procesos de pavimentación hacen necesario dejar tramos colchón (“buffer”) que absorban dicha variabilidad
- d. Una vez reducido los lotes de producción y mejorando los procesos de aseguramiento de la calidad es muy importante cambiar el método constructivo en el refinado prescindiendo del escarificado
- e. En lugar de esperar resultados inmediatos respecto al costo unitario y los porcentajes de tiempos productivos de operaciones individuales, es mucho más conveniente fijar las metas de mejora en cuanto a la confiabilidad en el planeamiento y en el indicador “Porcentaje de Valor Agregado” ya que es una medida del desempeño de todo el proceso.

✓ **Objetivo Específico 4:**

Para abordar el problema de la innovación tecnológica se utilizó el mismo caso de estudio que para la Construcción sin pérdidas, pero en este caso el enfoque de recolección de datos fue mixto (cuantitativo y cualitativo)

- a. La técnica TRIZ puede aplicarse para obtener ideas innovadoras y desarrollar tecnologías de construcción más eficientes
- b. El benchmarking tecnológico permitió identificar cualitativamente que existe una brecha entre la tecnología de construcción usada en el proyecto y nuevas tecnologías emergentes que vienen siendo utilizadas en países más desarrollados
- c. Es más conveniente implementar tecnología innovadora que permita mejorar la productividad en procesos de nivelado y compactación pues son los procesos con menor desempeño (menores rendimientos, más propenso a cometer defectos)
- d. Para una adecuada caza y adaptación tecnológica se requiere analizar la viabilidad de las tecnologías en términos de disponibilidad y posibilidad de inclusión en los procesos constructivos, en el caso de estudio 2 de las 3 alternativas consideradas no eran factibles por falta de disponibilidad del producto y por la imposibilidad de adecuar la tecnología (sensores) a la que se posee actualmente.
- e. Los mayores riesgos identificados, que podían impedir obtener los beneficios de la innovación tecnológica eran debido a la resistencia de las cuadrillas al cambio y la no utilización del sistema por desconocimiento, ambos aspectos relacionados a los recursos humanos del proyecto
- f. Los enfoques de la mejora continua y la innovación tecnológica se complementan y ambos permitirán mejorar la productividad en mayor escala que de manera aislada, esto se visualiza al momento de elegir las alternativas tecnológicas más convenientes, si no se tomaba en cuenta los resultados del diagnóstico se podría haber adquirido tecnología que sólo habrían generado mejoras locales
- g. Los principales riesgos se controlarán mediante programas de incentivos y el servicio de puesta en marcha del proveedor
- h. La pavimentadora Voegelé 1800-3 con sensores sónicos de nivelación resultó ser una alternativa muy rentable pues la inversión se recuperará en

aproximadamente 1 año y medio y permitirá ganar al final del periodo de vida del equipo un monto equivalente a lo invertido en su adquisición.

Finalmente, es necesario recalcar que la optimización del flujo de producción es importante antes de la implementación de tecnología innovadora, con el objetivo de incorporar el ambiente de aprendizaje continuo y reducción de pérdidas de flujo: por ejemplo, si no se incorporan las medidas de planeamiento para evitar tramos "ventana" y otras paras del flujo, si no se previenen defectos como la segregación y el bajo nivel de compactación y si no se reducen los inventarios, los beneficios de la incorporación de la pavimentadora Vogele serán menores.

7.2 RECOMENDACIONES

- ✓ El alcance del presente estudio se limita al nivel de propuesta, debido a limitaciones de tiempo, existe la necesidad de más casos de estudio donde se apliquen los planes de mejora con el fin de determinar tasas de crecimiento de la productividad reales así como potenciales barreras a la implementación
- ✓ El trabajo no considera la influencia en la productividad de precipitaciones y de las condiciones de seguridad en el proceso constructivo, se sugiere mayor investigación con respecto a estos puntos
- ✓ El indicador "Porcentaje de Valor Agregado" -es decir el tiempo en que se añade valor al producto a lo largo del todo el proceso- en el estado mejorado es de sólo 28% a pesar de los planes de optimización diseñados y de que los tiempos productivos en cada operación, esto abre una oportunidad para futuras investigaciones que permitan desarrollar nuevos métodos constructivos que sean menos propensas a la variabilidad y por lo tanto con menor cantidad de inventarios
- ✓ Se recomienda la aplicación de la guía práctica en otro tipo de procesos constructivos repetitivos como la colocación de mezcla asfáltica, tendido de tuberías o excavación de túneles
- ✓ Es importante el desarrollo de nuevos indicadores del Mapa de Cadena de Valor que permitan identificar pérdidas adicionales en otros procesos constructivos o que sean más representativos
- ✓ La presente tesis determina brechas tecnológicas cualitativamente y sin calcular el tiempo necesario para su cambio, es recomendable desarrollar técnicas de diagnóstico tecnológico cuantitativo en los procesos más

importantes y que permitan identificar las áreas con mayor necesidad de mejora de tecnología y los tiempos de obsolescencia, el modelo de madurez de Foster puede usarse como referencia.

- ✓ La estimación de costos y beneficios de la evaluación económica no considera los conceptos del costos de no calidad, el cálculo de estos valores para una estimación más precisa es necesario en posteriores investigaciones, estos posteriormente deben ser comparados con los reales obtenidos.
- ✓ Se recomienda el desarrollo un sistema de vigilancia tecnológica dentro de las organizaciones que se actualice constantemente, un ejemplo puede la creación de una base de datos dentro de la red interna de las empresas donde se incluyan resultados de la búsqueda de innovaciones tecnológicas que estén disponibles y con potencial de generar beneficios
- ✓ Los conceptos de Investigación y Desarrollo Tecnológico (I+D) fueron mencionados someramente, es de vital importancia profundizar en estos ámbitos mediante el diseño de prototipos y proyectos piloto que permitan a nuestro país desarrollar su propia tecnología en el futuro

BIBLIOGRAFÍA

- ✓ AFUAH, A., "Innovation management: Strategies, implementation, and profits". New York: Oxford University, 1998.
- ✓ BALLARD, Greg; HOWELL, Glenn. "Implementing Lean Construction: Understanding and Action", Ponencia aceptada en la 8va conferencia del International Group for Lean Construction (IGLC 6), Guaruja, Brasil, 1998
- ✓ BARRIO, Daniel; GARCIA, Salvador; "Modelo para la gestión de la innovación tecnológica en el sector inmobiliario", Tecnológico de Monterrey, México, 2011
- ✓ BENÍTEZ CODAS, Manuel "Gestión de riesgo de innovaciones tecnológicas en los proyectos", Jornadas de Gerencia de Proyectos PMI Cono Sur, Asunción, Paraguay, 2013.
- ✓ BEST, Rick; DE VALENCE, Gerard, "Design and Construction", Elsevier Science Limited, United Kingdom, 2002.
- ✓ BROCK, D., MAY, j. y RENEGAR, G. "Segregación: Causas y Soluciones", Boletín Técnico T-117S, Instituto del Asfalto en Caliente, Estados Unidos, 1994
- ✓ CENTENO, Roberto. "Experiencias en el Uso y Abuso de Vibro-compactadoras para la Densificación de Materiales Granulares Cementados y no Cementados", XVIII Seminario Venezolano de Geotecnia, Caracas, 2010.
- ✓ COBARRUBIAS, Juan Pablo, "Diseño de losas de hormigón con geometría optimizada", Universidad de Chile, Santiago, Chile, 2012.
- ✓ CRAIG SMITH, Jeffrey. "Mega-Project Construction Management: The Corp of Engineers and Bechtel Group in Saudi Arabia". Master of Science Thesis, Massachusetts Institute of Technology, Boston, 1991.
- ✓ DOZZI, S.; ABOURIZK, S. "Productivity in Construction", University of Alberta, Canada, 1993
- ✓ GHIO CASTILLO, Virgilio. "Guía para la innovación tecnológica en la construcción", Universidad Católica de Chile , Santiago, Chile, 1998
- ✓ GHIO CASTILLO, Virgilio. "Productividad en obras de Construcción". Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, 2001.
- ✓ HUANG, Allison; CHAPMAN, Robert; BUTRY, David. "Metrics and Tools for Measuring Construction Productivity". Technical and Empirical Considerations. USA: National Institute of Standards and Technology, 2009.
- ✓ IMAI, Masaaki. "Kaizen: La clave de la ventaja competitiva japonesa" Kaizen Insitute, México, 1989.

- ✓ INOKUMA, Akira; AOKI, Mikiharu; SHIMURA, Mitsuru; NAGAYAMA, Daisuke; KOISUMI, Chikara. "Absence in the provenance? Lean Construction and its applicability in Japan". Ponencia aceptada en la 22va conferencia anual del International Group for Lean Construction (IGLC), Oslo, Noruega, 2014.
- ✓ KOSKELA, Lauri; "Application of new production philosophy to construction" Tech. Rep. No 72, CIFE, Stanford, California, 1991.
- ✓ NAM, C.H., TATUM, C.B.; "Major characteristics of constructed products and resulting limitations of construction technology." Construction Management and Economics, Dept. of Civil Engineering, Stanford University, 6 (2), 1998.
- ✓ OCDE, "Manual de Oslo: Guía para recolectar e interpretar la Innovación", 3era edición, París, 2005.
- ✓ PONTI, Franc; FERRAS, Xavier. "Pasión por Innovar", Bogotá, Grupo Editorial Norma, 2012.
- ✓ ROSENBAUM, Sergio. "Aplicación de mapas de Cadena de Valor para detección de pérdidas productivas y medioambientales", Tesis de Grado, Universidad de Chile, 2012.
- ✓ ROTHER, M. y SHOOK, J., "Learning to see: Value Stream Mapping to create value and eliminate muda" Lean Enterprise Institute, Brookline, Estados Unidos, 1999.
- ✓ SAPAG CHAIN, Nasir, "Evaluación de Proyectos de Inversión en la Empresa", 2da edición, Editorial Pearson, Argentina, 2001.
- ✓ SERPELL BLEY, Alfredo; Administración de Operaciones de Construcción, 2da edición, Editorial Alfaomega, Chile, 2003.
- ✓ THOMAS, H.R; YIAKOUMIS, I., "Factor Model of Construction Productivity", Journal of Construction Engineering and Management, ASCE, Estados Unidos, 1987.
- ✓ VARGAS SAAVEDRA, Teófilo, "De la Innovación con TRIZ", Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Civil (IIFIC), Perú, 2009.
- ✓ VOLVIKEN, Trond; ROOKE, Jhon; KOSKELA, Lauri. "The Wastes of Production in Construction - a TFV based taxonomy". Ponencia aceptada en la 22va conferencia del International Group for Lean Construction (IGLC), Oslo, Noruega, 2014
- ✓ WANDAHL, Soren. "Lean Construction with or without Lean - Challenges of implementing Lean Construction". Ponencia aceptada en la 22va conferencia del International Group for Lean Construction (IGLC), Oslo, Noruega, 2014

- ✓ WODALSKI, Michael; THOMPSON, Benjamin. "Applying Lean Techniques in the Delivery of Transportation Infrastructure Construction Projects". CFIRE Technical Report, No 03-11. Wisconsin, 2011.