

**Universidad
Continental**

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil

**Efecto del control de pérdidas aplicando
lean en la productividad del mejoramiento
de suelo subrasante de la carretera
Huancavelica-Lircay**

Jhorch Antony Inga Jaime

Huancayo, 2017

Tesis para optar el Título Profesional de
Ingeniero Civil



Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Obra protegida bajo la licencia de [Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Perú](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/peru/)

ASESOR

Ing. Augusto Elías García Corzo

AGRADECIMIENTO

A todos los catedráticos de la Escuela Académica Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Continental, ya que gracias a ellos ahora se ven estudiantes realizados como ingenieros civiles que aportan al progreso de nuestro territorio.

A la empresa CVJ por brindarme los recursos necesarios para efectuar esta investigación y encontrar aportes que ayuden de alguna manera al sector, de igual forma a la familia I.J. que son mis pilares para emprender futuros desafíos.

DEDICATORIA

A las familias Inga G. y Jaime A. por brindarme su amor y apoyo durante toda mi vida.

INDICE

PORTADA	i
ASESOR.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
INDICE	v
LISTA DE TABLAS.....	vii
LISTA DE FIGURAS	ix
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT	xii
INTRODUCCIÓN.....	xiii
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO.....	1
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	2
1.2.1. PROBLEMA GENERAL	2
1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS.....	2
1.3. OBJETIVOS.....	3
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	3
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
1.4. HIPÓTESIS.....	4
1.4.1. HIPÓTESIS GENERAL	4
1.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICOS	4
1.5. METODOLOGÍA DE ESTUDIO	4
CÁPITULO II MARCO TEÓRICO.....	6
2.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA.....	6
2.2. BASES TEÓRICAS:.....	8
2.2.1. TERRAPLÉN PARA M.S.N.S. DE CARRETERAS.....	8
2.2.2. LEAN CONSTRUCTION (CONSTRUCCIÓN SIN PÉRDIDAS).....	11
2.2.3. PRODUCTIVIDAD EN LA CONSTRUCCIÓN.....	14
2.2.4. PROCESOS DE MEJORA EN LA PRODUCCIÓN DE CARRETERAS	16
CÁPITULO III PROYECTO DE TERRAPLÉN PARA M.S.N.S. DE CARRETERA ASFALTADA ...	34
3.1. DESCRIPCIÓN DEL CASO DE ESTUDIO.....	34
3.1.1. INFORMACIÓN GENERAL DEL PROYECTO	34
3.2. ALCANCE GENERAL.....	35
3.2.1. REVISIÓN DEL ALCANCE A ESTUDIAR.....	36
3.3. EVALUACIÓN DE LA ACTIVIDAD CRÍTICA.....	36
3.4. EVALUACIÓN ACTUAL DE LA PRODUCTIVIDAD	38
3.4.1. ANÁLISIS DE LA EJECUCIÓN DE LA ACTIVIDAD	38
3.4.2. DESCRIPCIÓN DE PROCESOS EJECUTADOS.....	40

3.4.3.	ANÁLISIS DE LOS PROCESOS PARA ENCONTRAR EL FLUJO DE PRODUCCIÓN	
	44	
3.5.	EVALUACIÓN GENERAL.....	91
3.5.1.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS DE LA PRODUCTIVIDAD.....	91
3.5.2.	IDENTIFICACIÓN DE CAUSAS RAÍZ EN LA PRODUCCIÓN	93
	CÁPITULO IV SISTEMA DE MEJORA DE LA PRODUCCION	100
4.1.	INTERVENCIÓN	100
4.1.1.	ASEGURAMIENTO DEL FLUJO DE PROCESOS DE LA ACTIVIDAD:	100
4.1.2.	ASEGURAMIENTO DE FLUJOS EFICIENTES DE LA ACTIVIDAD	110
4.1.3.	PROCESOS EFICIENTES DE LA ACTIVIDAD	116
4.2.	MAPA DE FLUJO DE VALOR DE TERRAPLÉN PARA M.S.N.S. (MFV) – ESTADO MEJORADO	125
	CÁPITULO V RESULTADOS Y DISCUSIÓN	128
5.1.	RESULTADOS E INTERPRETACIÓN:	128
5.1.1.	NIVELES DE ACTIVIDAD DE TRABAJO DEL TERRAPLÉN PARA M.S.N.S.	128
5.1.2.	PRODUCCIÓN PROMEDIO	132
5.1.3.	VARIABILIDAD DE PRODUCCIÓN	133
5.1.4.	PORCENTAJE DE PLAN CUMPLIDO	133
5.2.	CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS	134
	CÁPITULO VI CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	136
6.1.	CONCLUSIONES:	136
6.2.	RECOMENDACIONES:.....	137
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	138
	ANEXOS.....	140

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Clasificación de pérdidas	17
Tabla 2: Simbología de los MFV	21
Tabla 3: Herramientas del Lean Construction.....	26
Tabla 4: Partidas principales del área de Movimiento de tierras	35
Tabla 5: Control de actividades del área de Movimiento de Tierras.....	37
Tabla 6: Requisitos de los materiales	40
Tabla 7: Control del terraplén para M.S.N.S.	46
Tabla 8: Recopilación del costo del terraplén para M.S.N.S	48
Tabla 9: Datos del análisis de la base – cuerpo terraplén M.S.N.S.....	49
Tabla 10: Clasificación de procesos de la base y cuerpo	50
Tabla 11: Muestreo de subprocesos capa base cuerpo, día lunes 31/08/15	51
Tabla 12: Distribución de tiempo de los subprocesos capa base-cuerpo, día lunes 31/08/15	52
Tabla 13: Distribución de porcentaje de los subprocesos capa base-cuerpo, día lunes 31/08/15..	53
Tabla 14: Equipos utilizados en la base.....	54
Tabla 15: Promedio de distribución de tiempos	54
Tabla 16: Cursograma Analítico de la ejecución de la Base.	56
Tabla 17: Resumen del Cursograma Analítico de la Base.	56
Tabla 18: Equipos utilizados en el nivelado y refinado del cuerpo	58
Tabla 19: Promedio de distribución de tiempos	58
Tabla 20: Cursograma Analítico de la ejecución del Cuerpo.....	60
Tabla 21: Resumen del Cursograma Analítico del Cuerpo.....	60
Tabla 22: Equipos utilizados en la compactación del cuerpo.	62
Tabla 23: Promedio de distribución de tiempos	62
Tabla 24: Datos del análisis de la corona del terraplén M.S.N.S.....	64
Tabla 25: Clasificación de procesos de la corona	64
Tabla 26: Muestreo de subprocesos capa corona, día sábado 05/09/15.	66
Tabla 27: Distribución de tiempo de los subprocesos capa corona, día sábado 05/09/15.	67
Tabla 28: Distribución de porcentaje de los subprocesos capa corona, día sábado 05/09/15.	68
Tabla 29: Equipos utilizados en el nivelado-refinado de la corona.....	69
Tabla 30: Promedio de distribución de tiempos	69
Tabla 31: Cursograma Analítico de la ejecución de Corona.....	71
Tabla 32: Resumen del Cursograma Analítico de Corona.	71
Tabla 33: Equipos utilizados en la compactación de la corona.	73
Tabla 34: Promedio de distribución de tiempos	73
Tabla 35: Demoras de abastecimiento de material.....	76
Tabla 36: Disponibilidad de equipos en terraplén para M.S.N.S.	76
Tabla 37: Tiempo de inventarios del terraplén para M.S.N.S.	80

Tabla 38: Tiempo de ciclo del terraplén para M.S.N.S.	81
Tabla 39: Producción promedio y variabilidad del terraplén para M.S.N.S.	82
Tabla 40: Porcentaje de plan cumplido de terraplén M.S.N.S.	83
Tabla 41: Porcentaje de desperdicio de material en cada capa.	83
Tabla 42: Plan de mejora en la gestión de la calidad.	102
Tabla 43: Correcciones para evitar las deflexiones de las capas.	103
Tabla 44: Correcciones para evitar la segregación las capas.	104
Tabla 45: Correcciones para mejorar el grado de compactación deficiente.	105
Tabla 46: Cuadrilla de control de calidad para terraplén de M.S.N.S.	106
Tabla 47: Modelo de planificación maestra.	107
Tabla 48: Actividades que no generan valor en terraplén para M.S.N.S.	117
Tabla 49: Formato de planeamiento y control diario terraplén para M.S.N.S.	118

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Estructura del terraplén para mejoramiento de suelo	9
Figura 2: Principios de Lean.....	13
Figura 3: Factores influyentes en la productividad de carreteras	15
Figura 4: Metodología del mapa de flujo de valor	19
Figura 5: Formato de MFV	20
Figura 6: Programación del Last Planner por niveles	24
Figura 7: Planeamiento de fases “Pull Phase” en pizarras de planeamiento	25
Figura 8: Modelo de aseguramiento de flujo	28
Figura 9: Modelo de flujos eficientes	30
Figura 10: Ejemplo de sectorización de vaciado de una losa	31
Figura 11: Ejemplo de tren de actividades para terraplén M.S.N.S.	32
Figura 12: Modelo de flujos con procesos eficientes	33
Figura 13: Ubicación del proyecto.....	34
Figura 14: Mapa de procesos del terraplén para mejoramiento de suelo a nivel subrasante	39
Figura 15: Planta dosificadora de material para terraplén de M.S.N.S.....	40
Figura 16: Flota de volquetes de 15 m ³ de capacidad aproximada.	41
Figura 17: Proceso de corte y eliminación de plataforma	42
Figura 18: Verificación de las alturas de cada capa.	42
Figura 19: Esparcido de material over en base.	43
Figura 20: Esparcido de material granular para la corona	43
Figura 21: Compactación final de la 2da capa de la corona.	44
Figura 22: Diagrama del rendimiento promedio.....	47
Figura 23: Diagrama de los tiempos de trabajo.	55
Figura 24: Diagrama del trabajo no contributorio.....	57
Figura 25: Diagrama de los tiempos de trabajo.	59
Figura 26: Diagrama del trabajo no contributorio.....	61
Figura 27: Diagrama de los tiempos de trabajo	62
Figura 28: Diagrama del trabajo no contributorio.....	63
Figura 29: Diagrama de los tiempos de trabajo.	70
Figura 30: Diagrama del trabajo no contributorio.....	72
Figura 31: Diagrama de los tiempos de trabajo.	74
Figura 32: Diagrama del trabajo no contributorio.....	75
Figura 33: Informe de producción terraplén M.S.N.S., capa base – cuerpo.....	78
Figura 34: Informe de producción terraplén M.S.N.S., capa corona.....	79
Figura 35: Informe de producción terraplén M.S.N.S., entre capas.....	79
Figura 36: Tiempo en el flujo de producción del terraplén M.S.N.S.	81
Figura 37: Capa del cuerpo con deflexiones.....	85
Figura 38: Capa de la corona deteriorada por la lluvia.	85
Figura 39: Capa de la corona con problemas de segregación.	86
Figura 40: Longitudes liberadas de la base-cuerpo.	87
Figura 41: Longitudes liberadas de la corona.	87
Figura 42: Tiempos de no calidad de las capas (NQT).....	88
Figura 43: Mapa de flujo de valor - Estado actual.....	90
Figura 44: Diagrama de árbol de causas de la variabilidad.....	94
Figura 45: Diagrama causa efecto – Deflexiones de las capas.....	95
Figura 46: Diagrama causa efecto - Segregación de material granular.	96
Figura 47: Diagrama causa efecto – Grado de compactación deficiente.	96
Figura 48: Diagrama causa efecto – Bajo rendimiento de los tractores.	97

Figura 49: Diagrama causa efecto – Bajo rendimiento de las motoniveladoras.....	98
Figura 50: Diagrama causa efecto – Bajo rendimiento de los rodillos.....	98
Figura 51: Problemas identificados y estrategias de mejora del aseguramiento de los flujos.	101
Figura 52: Ejemplo de Pull Phase del terraplén M.S.N.S.	109
Figura 53: Problemas identificados y estrategias de mejora de los flujos.	110
Figura 54: Sectorización por cada capa.....	111
Figura 55: Dimensionamiento por cada capa.	112
Figura 56: Flota de volquetes con material parados por ejecución de voladura de roca fija.....	113
Figura 57: Tren de actividades de cada capa.	115
Figura 58: Problemas identificados y estrategias de mejora de los procesos eficientes.....	116
Figura 59: Cursograma Analítico Mejorado de la ejecución de la Base.	119
Figura 60: Escarificado por desgaste de la capa.....	121
Figura 61: Cursograma Analítico Mejorado de la ejecución del Cuerpo.	123
Figura 62: Cursograma Analítico Mejorado de la ejecución de la Corona	124
Figura 63: Mapa de flujo de valor - Estado mejorado.	126
Figura 64: Nivel de actividad de la base, tractor oruga.....	129
Figura 65: Nivel de actividad del cuerpo, motoniveladora.	129
Figura 66: Nivel de actividad del cuerpo, rodillo vibratorio.	130
Figura 67: Nivel de actividad de la corona, motoniveladora	131
Figura 68: Nivel de actividad de la corona, rodillo vibratorio	131
Figura 69: Producción promedio por cada capa.	132
Figura 70: Variabilidad de producción por capa.....	133
Figura 71: Porcentaje de plan cumplido por cada capa.....	134

RESUMEN

Hoy en día ya no es posible pasar por alto la gran influencia que tiene el sector de la construcción en la sostenibilidad del Perú, es por ello que existe una gran competencia entre las empresas relacionadas al sector y que vienen efectuando grandes inversiones en los proyectos civiles con la única finalidad de que se manejen sistemas de ejecución óptimos logrando cumplir las planificaciones o metas trazadas inicialmente, manteniendo una mejora constante en la producción de los proyectos, tratando de reducir el mayor tiempo posible toda la ejecución de la obra y de esta manera generar beneficios máximos para todos los involucrados.

El presente estudio busca encontrar y demostrar un sistema de producción efectiva respecto al que se viene manejando actualmente, realizando el control de las diferentes pérdidas que se presenten aplicando la filosofía Lean Construction en los “Mejoramientos de Suelo a Nivel Subrasante” del proyecto “Carretera Huancavelica – Lircay, tramo 2: Antacancha – Lircay.”

ABSTRACT

Today it is no longer possible to overlook the great influence of the construction sector in the sustainability of Peru, which is why there is great competition between companies related to the sector and are making large investments in civil projects with the sole purpose of systems optimal execution are handled achieving fulfill the plans or goals set initially, maintaining a constant improvement in production projects, trying to reduce as much as possible throughout the execution of the work and thus generate maximum benefits for all involved.

This study seeks to find and demonstrate a system of effective production compared to that is currently handling, making the control of the various losses that arise applying the philosophy Lean Construction in improvements soil to subgrade level road project Huancavelica - Lircay, section 2: Antacancha - Lircay.

INTRODUCCIÓN

La industria de la construcción es uno de los principales sectores que contribuye al desarrollo y sostenimiento del Perú. Conociendo esto un propósito fundamental es intensificar los niveles de productividad con la finalidad de reducir los recursos y efectuar más proyectos civiles, pero a diferencia de otros sectores la industria de la construcción no muestra mejoras considerables en la productividad que ponen en riesgo el valor de los futuros proyectos de construcción.

La presente tesis analiza la restricción de la mejora de la productividad específicamente en proyectos de carreteras, aplicando el control de pérdidas de los recursos con la metodología Lean Construction que avalan mejoras tanto en la gestión y operación de cada actividad que se ven reflejados en la eficiencia de los recursos empleados, la gestión debe ser desarrollado eficientemente y plasmarse en la ejecución de los procesos en campo para alcanzar mejores resultados. A continuación detallamos brevemente cada capítulo:

En el capítulo 1 se menciona el problema que impulso a efectuar el presente trabajo, formulando el problema, planteando los objetivos a cumplir con la metodología de investigación a usar.

En el capítulo 2 se ahonda los fundamentos teóricos del control de pérdidas con la metodología Lean Construction (técnicas y herramientas), con la finalidad de realizar un marco conceptual que sirva de guía en la ejecución de las actividades.

En el capítulo 3 se aplica las técnicas y herramientas de la guía en un proyecto de carretera asfaltada realizado por el consorcio vial JAYLLI (caso de estudio) con la finalidad de realizar un diagnóstico general de la gestión y los procesos de ejecución de la actividad seleccionada.

En el capítulo 4 se aplica el nuevo sistema de producción en la construcción, las cuales se implementaron en la ejecución de las mismas para asegurar el cumplimiento de todas las metas del proyecto diferenciados en tres pasos consecutivos: aseguramiento del flujo de producción, flujos estandarizados y eficiencia máxima de los procesos estandarizados.

En el capítulo 5 se contrasta los resultados al aplicar las mejoras propuestas para cada uno de los procesos.

En el capítulo 6 se plasma las conclusiones que no es más que los resultados de los objetivos planteados y de igual manera se proponen recomendaciones con el fin de investigaciones futuras

Por último se manifiesta que la presente estudio se efectuó con la finalidad de evidenciar mejoras en la productividad de proyectos viales, por medio de la aplicación y acondicionamiento de principios diferentes a los rutinarios.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Obtener una mejora de la productividad en proyectos de construcción es de suma importancia ya que aporta considerablemente al desarrollo y sostenimiento de las mismas, al involucrar a todas las personas de las diversas actividades ejecutadas en la vida del proyecto se racionalizará sistemáticamente los recursos minimizando las pérdidas, los costos y posteriormente se puede aplicar a futuros proyectos similares a los realizados, al conseguir esta mejora se tendrá un avance en el desarrollo económico del país creando más empleos y promoviendo el bienestar de los habitantes. Lamentablemente los niveles de productividad en la ejecución de los proyectos de construcción a diferencia de otros sectores no tienen mejoras considerables visiblemente porque presentan un desarrollo técnico mínimo que llevan en muchos casos a la quiebra del proyecto.

El Dr. Virgilio Ghio profesor de la Pontificia Universidad Católica efectuó un estudio de la productividad en los proyectos de edificación en Lima y concluyó que el 28% del tiempo total es de Trabajo Productivo lo que demuestra que no se está efectuando las actividades como realmente se desean.

La región Huancavelica está atravesando una mejora considerable en el transporte terrestre teniendo una mejor interacción con las demás provincias, y es por ello que el Ministerio de Transportes y Comunicaciones de nuestro estado vienen realizando la construcción de la carretera Huancavelica - Lircay capital de la provincia de Angaraes. Si bien es cierto este proyecto vial es de suma importancia, hay que resaltar y cuestionar los niveles de productividad, ya que los que se van reportando hasta el día de hoy son

preocupantes a tal extremo que se ven reflejado en la calidad de las actividades ejecutadas.

Uno de los trabajos más importantes que congrega estas restricciones es la construcción del terraplén que tiene la función de mejoramiento del suelo a nivel subrasante, ya que al ser la base principal o el cimiento que soporta toda la carga de la estructura del pavimento requiere alcanzar niveles de productividad elevados, para posteriormente ejecutar las capas superiores como la subbase o base en las fechas previstas ligadas simultáneamente a la mejor calidad posible, lamentablemente se observa y es notorio que este trabajo al ser de importancia no se ejecuta con los mejores controles que amerita, llegando al punto de efectuar retrabajos en capas superiores de la base o subbase por problemas en la cimentación y esto por no contar con los controles pertinentes que puedan mitigar el riesgo de tener problemas futuros.

Debido a lo anterior existe la necesidad de proponer una estrategia completa donde podamos utilizar metodologías modernas y herramientas que mejoren los procesos de planificación, ejecución y control de las diferentes actividades que se realizan en los proyectos viales que minimicen la incertidumbre de variabilidad en el tiempo y costo. En la presente tesis se estudiará la productividad en la construcción de carreteras específicamente referidos a la ejecución de los Mejoramientos de Suelo a Nivel Subrasante, ya que al ser un proceso repetitivo como las diferentes actividades se podrían obtener un modelamiento para disminuir la variabilidad, reducir pérdidas e incrementar los índices de productividad.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. PROBLEMA GENERAL

¿En qué medida la eficiencia en los trabajos del Mejoramiento de Suelo a Nivel Subrasante influye en la productividad de la Carretera Huancavelica – Lircay, tramo 2: Antacancha – Lircay?

1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS

- ¿En qué medida el tiempo de ejecución del Mejoramiento de Suelo a Nivel Subrasante influye en la productividad de la carretera Huancavelica – Lircay, tramo 2: Antacancha – Lircay?

- ¿En qué medida la calidad durante la ejecución del Mejoramiento de Suelo a Nivel Subrasante influye en la productividad de la carretera Huancavelica – Lircay, tramo 2: Antacancha – Lircay?
- ¿En qué medida el tiempo y la calidad del Mejoramiento de Suelo a Nivel Subrasante influyen en la productividad de la carretera Huancavelica – Lircay, tramo 2: Antacancha – Lircay?

1.3. OBJETIVOS

Al concluir el planteamiento y formulación del problema se proyecta resolver los siguientes objetivos:

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar la eficiencia en los trabajos de Mejoramiento de Suelo a Nivel Subrasante para la mejora de la productividad de la Carretera Huancavelica – Lircay, tramo 2: Antacancha – Lircay.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar el tiempo de ejecución de los trabajos de la carretera Huancavelica – Lircay, tramo 2: Antacancha – Lircay para mejorar la productividad del Mejoramiento de Suelo a Nivel Subrasante.
- Controlar la calidad durante la ejecución del Mejoramiento de Suelo a Nivel Subrasante para optimizar la productividad de la carretera Huancavelica – Lircay, tramo 2: Antacancha – Lircay.
- Determinar el tiempo y la calidad del Mejoramiento de Suelo a Nivel Subrasante para mejorar la productividad de la carretera Huancavelica – Lircay, tramo 2: Antacancha – Lircay.

1.4. HIPÓTESIS

Luego de describir el problema y los objetivos, efectuamos las hipótesis como se muestra a continuación:

1.4.1. HIPÓTESIS GENERAL

La aplicación del control de pérdidas con la filosofía Lean Construction mejora la productividad del Mejoramiento de Suelo a Nivel Subrasante de la Carretera Huancavelica – Lircay, tramo 2: Antacancha – Lircay.

1.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICOS

- Es factible verificar la efectividad del control del flujo de actividades respecto al tiempo de ejecución de las capas base, cuerpo y corona del Mejoramiento de Suelo a Nivel Subrasante de la Carretera Huancavelica – Lircay, tramo 2: Antacancha – Lircay.
- Es posible confirmar la efectividad de los controles en los procesos de ejecución de las capas base, cuerpo y corona respecto a la calidad del Mejoramiento de Suelo a Nivel Subrasante de la Carretera Huancavelica - Lircay, tramo 2: Antacancha – Lircay.
- Es factible verificar la efectividad de la aplicación de un nuevo sistema de producción respecto al tiempo y calidad de ejecución de las capas base, cuerpo y corona del Mejoramiento de Suelo a Nivel Subrasante de la Carretera Huancavelica – Lircay, tramo 2: Antacancha – Lircay tiempo y la calidad del Mejoramiento de Suelo a Nivel Subrasante para mejorar la productividad de la carretera Huancavelica – Lircay, tramo 2: Antacancha – Lircay.

1.5. METODOLOGÍA DE ESTUDIO

La metodología con el cual desarrollaremos esta investigación se detalla a continuación:

- Se seleccionará un proyecto de carreteras asfaltadas donde se pueda efectuar el control de pérdidas con la metodología Lean Construction de la partida seleccionada (Mejoramientos de Suelo a Nivel Subrasante).

- Se evaluarán y se especificarán las herramientas aplicadas con la metodología Lean Construction en la gestión y operación de la actividad.
- Se describirán el proceso constructivo y los recursos empleados en cada capa del mejoramiento (base, cuerpo, corona).
- Se efectuarán mediciones de la productividad de cada capa identificando los tiempos improductivos que generan pérdidas al proyecto para luego proponer un sistema de mejora.
- Se elaborarán mediciones del cumplimiento de metas programadas (Porcentaje de Plan Cumplido) para analizar y mitigar las restricciones que afectan al cumplimiento de las mismas y así mejorar la ejecución de la actividad (lecciones aprendidas).
- Finalmente con los resultados obtenidos se evaluará el efecto del sistema propuesto para la mejora productiva de la actividad, de igual manera se efectuará un resumen con las mejoras que deben tomarse en cuenta para obtener resultados positivos.

CÁPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

Ghio (1), en su investigación “Productividad en obras de investigación – Diagnostico, Critica y propuesta”, tuvo como objetivo determinar el nivel competitivo de las construcciones en el país en función a los estándares internacionales, evaluando los niveles de productividad de los trabajos ejecutados en infraestructuras y eficiencia de los recursos, llegando a las siguientes conclusiones:

- Principal herramienta para mitigar los tiempos muertos es la gestión de cada actividad, interactuando con todos los involucrados del proyecto.
- La planificación y monitoreo de los trabajos en las obras resultan beneficiosos para los proyectos de construcción, logrando importantes ganancias en la productividad y en el valor del proyecto.
- Efectuar nuevos sistemas de mejoramiento en la producción de las obras tomando en cuenta Lean construction aportará en reducir la variabilidad de las construcciones.

Román (2), En su investigación “Aplicación de las metodologías construcción sin pérdidas e innovación tecnológica para la mejora de la productividad en procesos de pavimentación” tuvo como finalidad encontrar mejoras respecto a la productividad de los procesos constructivos de pavimentación utilizando metodologías como el Lean Construction y la Innovación Tecnológica, seguidamente se tiene las siguientes conclusiones:

- En la ejecución de proyectos es muy importante elaborar propuestas de mejora continua mediante los principios de la filosofía Lean Construction.

- Las empresas constructoras deben efectuar innovaciones tecnológicas viables constantemente que aporten positivamente en la ejecución de las construcciones.
- Debido a la variabilidad presente en los procesos constructivos se debe realizar un enfoque de los flujos de procesos de cada obra, recopilando información de los riesgos que originan las paradas, después de identificarlas y solucionarlas se archivarán en el banco de lecciones aprendidas, las cuales servirán para planificar y ejecutar futuros proyectos similares a lo efectuado.

Rubio (3), en su investigación “Aplicación de la producción en serie en la industria de la construcción” tuvo como finalidad estudiar la factibilidad de la aplicación de un nuevo sistema de ejecución ligada a una nueva filosofía, dejando de lado los sistemas tradicionales, Posteriormente se llegó a las siguientes conclusiones:

- Efectuar un nuevo sistema de ejecución con la filosofía Lean Construction estandarizará la funcionabilidad de los trabajos de cada partida, garantizando mejoras en los plazos de ejecución (tiempo), minimizando errores de ejecución (calidad) y reduciendo los costos.
- Las empresas constructoras están en la obligación de encontrar y plasmar métodos de planificación, ejecución y control, de tal manera se obtengan mejoras en la gestión administrativa y operativa de los proyectos de construcción.
- La planificación y monitoreo de los trabajos en las obras resultan beneficiosos para los proyectos de construcción, logrando importantes ganancias en la productividad y en el valor del proyecto.
- La ejecución de nuevos sistemas de mejoramiento en la producción de las obras tomando en cuenta Lean construction aportará en reducir la variabilidad de las construcciones buscando la mejora continua.

Guzmán (4), en su investigación “Aplicación de la filosofía Lean Construction en la planificación, programación, ejecución y control de proyectos” contemplan los nuevos enfoques de producción de los proyectos efectuando la aplicación de la filosofía Lean, consecuentemente a este análisis se efectuó las siguientes conclusiones relacionadas a nuestro caso de estudio:

- La aplicación de las herramientas de la filosofía Lean es importante para efectuar los controles en la ejecución de procesos de cada actividad del proyecto, Estas

herramientas tienen una nueva manera de efectuar cada actividad mejorando la productividad de la misma.

- La planificación de efectuar procesos de sectorización y luego los trenes de actividades hacen posible que se obtenga una curva de aprendizaje de las actividades mitigando tiempos improductivos.
- El efectuar el Last Planner System que no es más que realizar planificaciones mensuales, intermedias, semanales y diarias minimizarán considerablemente la variabilidad de los proyectos de construcción.
- Mejorar los procesos de ejecución reduciendo cuadrillas que no sean eficientes, aumentará el valor de los proyectos civiles ahorrando un 10 % del costo de mano de obra total.

2.2. BASES TEÓRICAS:

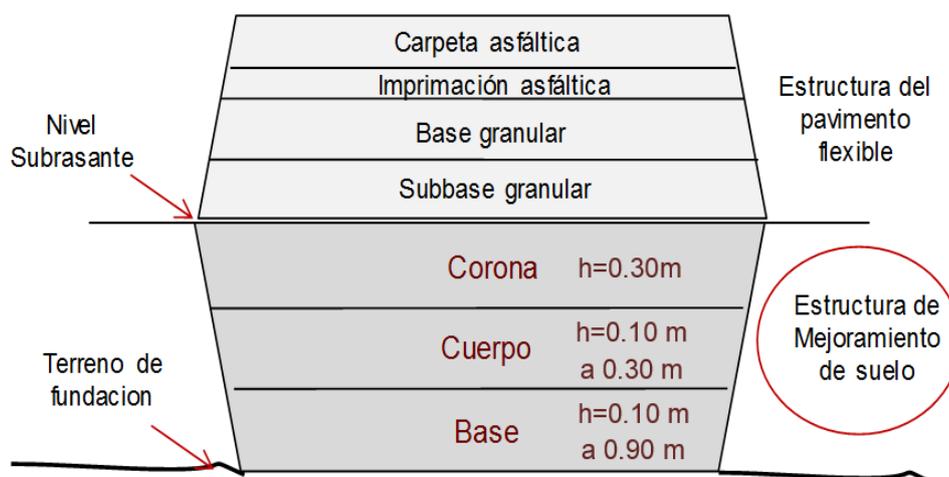
2.2.1. TERRAPLÉN PARA M.S.N.S. DE CARRETERAS

Es el proceso de estabilizar la fundación de tramos inadecuados existentes de una rehabilitación o mantenimiento de carreteras (pavimento asfáltico) con material adecuado, el objetivo de este proceso es de tener un suelo con capacidad igual o mayor al diseño del pavimento.

2.2.1.1. Estructura del terraplén para m.s.n.s.

Teniendo en cuenta la profundidad de los mejoramientos que se vayan presentando ya sean superficiales o profundos, estas se distinguirán en tres partes como se muestra a continuación:

Figura 1: Estructura del terraplén para mejoramiento de suelo



Fuente: Propia

La figura 1 muestra la estructura del mejoramiento dividida en tres partes:

- **Base:** Es la parte que se apoya el terreno de fundación, solo se efectúan si los mejoramientos son profundos.
- **Cuerpo:** Es la capa comprendida entre la base y la corona compuesta de material granular que sirve como protección inicial al mejoramiento.
- **Corona:** Es la capa superior comúnmente llamada “capa subrasante”, se realiza con un espesor estándar de 30 cm, en el proceso constructivo tiene dos fases cada fase se efectúa con un espesor de 15 cm.

En la ejecución de los mejoramientos se deberán cumplir estándares de calidad en la que la capa final debe estar conformada, perfilada, y compactada con sus respectivas cotas.

2.2.1.2. Requerimientos de calidad

Las carreteras son efectuadas para mejorar el avance en general de la sociedad, es por ello la importancia de que la base (terraplén para mejoramientos de suelo nivel subrasante) tenga una buena funcionabilidad para mitigar los riesgos de baja calidad. A continuación

se presenta los parámetros establecidos para que los mejoramientos sean aceptados:

- La estructura del mejoramiento una vez culminada deberá soportar las cargas admisibles.
- Deben efectuarse ventanas de drenaje para que la estructura no sea alterada al contacto con el agua.
- Es suelo mejorado debe estar protegido con las capas superiores para mitigar riesgos por desgaste o deterioro.
- Cada capa de ejecución debe asegurar una eficiente circulación de vehículos de la empresa (volquetes, cisternas, etc.) y particulares.

Es prioridad garantizar el cumplimiento de todos los estándares de calidad, respecto a las posibles causas que afectan a los mejoramientos de suelo como las deflexiones de capas, deterioros o segregaciones, en el Manual de Carreteras “Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013” emitido por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones donde se encuentran los requisitos de calidad que cada proyecto debe cumplir no manifiesta a profundidad estos problemas ya que sólo presentan recomendaciones en la etapa de diseño, y no en el proceso operativo que influye en la aparición de estos problemas.

La segregación se produce por una acumulación de materiales gruesos en unas áreas, mientras que las otras tienen una acumulación de materiales más finos en el pavimento, las mezclas deben ser uniformes que cumplan con la fórmula original de la mezcla especificada para los trabajos. Bock y May (5)

Nohl and Domnick (6) manifiesta que los métodos tradicionales de apilamiento de material a menudo hacen que esta se segregue, con partículas más gruesas cayendo a los bordes de la pila y mientras que el material más fino se quedan en la parte superior.

De igual manera debemos tener en cuenta la compactación de las capas eligiéndolos rodillos frecuencias vibratorias más viables. Después de efectuar un estudio y pruebas en varios tramos utilizando vibro-compactadores, se pudo concluir que para efectuar las compactaciones para las capas del cuerpo y especialmente de la corona, las más

recomendadas con frecuencias altas y de amplitud baja debían estar en un rango de 2300 a 2500 RPM. Centeno (7).

2.2.2. LEAN CONSTRUCTION (CONSTRUCCIÓN SIN PÉRDIDAS)

Es un sistema que mejora el sistema de gestión de la producción y sus procesos (optimizar los tiempos de trabajo), teniendo el control del sistema de planificación operacional y de los diseños de procesos dirigidas a maximizar la producción eliminando las actividades improductivas que no aportan ningún valor.

Este sistema nace con Lean Production efectuado por la empresa Toyota en el país de Japón en los años 50, basada con un régimen de trabajo llamado “Justo a Tiempo” o “inventario cero”, el objetivo principal fue eliminar los inventarios y otras a través de pequeños lotes de transferencia, minimizar el tiempo de mantenimiento de equipos, interacción eficiente con proveedores, entre otras.

Lean Construction empezó a notarse con más énfasis en los años 90 con el objetivo de minimizar las pérdidas, también de implementar un nuevo modelo de flujos en oposición al modelo de conversión, ya que se visualiza mejor el procesos de las actividades y ver las pérdidas que siempre se presentan ya que el modelo de conversión no lo permitía, por ser muy genérico. Koskela (8)

2.2.2.1. Principios de Lean Construction (Construcción sin pérdidas)

Luego de investigar, interactuar y recopilar información que se llega a la conclusión que la percepción de Lean se resume en cinco principios. Jones y Womack (9):

Valor al cliente

Optimización del valor del proceso, es de suma importancia ver las necesidades del cliente y ser flexibles con los entregables, por eso la importancia de utilizar el método de cero inventarios o Just in Time, en la cual tenemos que efectuar lotes de transferencia pequeños en tiempos cortos cumpliendo con todas las especificaciones.

Establecer el flujo de valor

Para efectuar y obtener un flujo de valor debemos reconocer todos los procesos que crean valor al proceso (Trabajo productivo), las que no generan pero se necesitan (Trabajo contributorio), las que no agregan ningún valor y que deben ser eliminados (Trabajo improductivo), Es de suma importancia la interacción entre todos los involucrados sin importar el cargo.

Flujos

Resulta complicado implantar un proceso constante sin variabilidad, es por ello que se debe efectuar cada proceso agrupándolas por características similares (tipos, clases, etc.) que se puedan planificar fácilmente y controlar de manera eficiente.

Sistema Pull (atracción)

Este sistema de trabajo es eficiente porque son los clientes los que efectúan las demandas de cada entregable y tiran del sistema de producción que va sacando productos en función de las necesidades (lotes de transferencia).

Perfección progresiva

Una vez efectuado los 4 primeros principios se puede encontrar e implantar de manera gradual en el sistema la perfección anhelada. En el momento donde todos los involucrados del proceso interactúen constantemente y tengan como objetivo reducir los recursos, el tiempo, los costos y otras pérdidas, reflejándose en un incremento de la producción se menciona que se llega al objetivo (mejora continua).

2.2.2.2. Características de Lean Construction (Construcción sin pérdidas)

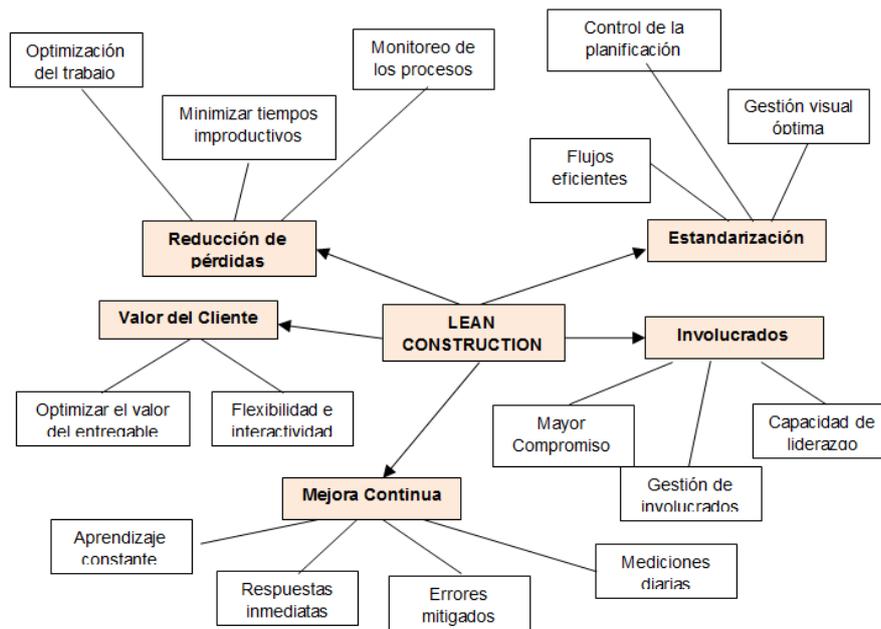
Después de efectuar un análisis detallado de Lean se deduce las siguientes características:

- Mejora continua del proyecto.
- Optimización del trabajo.

- Reducción de tiempos improductivos que no generan valor.
- Flujos continuos de procesos.
- Operatividad de la gestión visual.
- Optimización del valor del proyecto.
- Optima gestión de los involucrados.
- Respuestas inmediatas a los defectos.
- Controles constantes mensuales, semanales y diarios.
- Lecciones aprendidas en la organización.
- Reducción de pérdidas de los recursos.
- Porcentajes de plan cumplido.

Después de un análisis más profundo se puede deducir que Lean Construction es una metodología confiable para mejorar la productividad, minimizar los costos y reducir la variabilidad de procesos, generando mayor valor al entregable. A continuación se muestra un mapeo que refleja los principios de Lean Construction:

Figura 2: Principios de Lean



Fuente: "Measuring Lean conformance"-2003

2.2.3. PRODUCTIVIDAD EN LA CONSTRUCCIÓN

La productividad es un parámetro donde se mide la eficacia con que los recursos son administrados para culminar una obra, en el tiempo establecido y con la calidad especificada. Serpell (10).

La productividad en la construcción de carreteras se define mediante esta relación (referencia: <http://www.gestiondeoperaciones.net/inventarios/que-es-y-como-se-calcula-los-dias-de-inventario/>, visita realizada el 16 de agosto del 2016):

$$\text{Productividad} = \frac{\text{Producción total}}{\text{Recursos}}$$

Donde los recursos son los insumos utilizados (mano de obra, equipos, materiales) y la producción total es lo producido con estos recursos, las unidades de medida, esta medición también es conocida como ratios de producción, rendimiento de avance – recurso, etc. A continuación mostramos los resultados por cada recurso utilizado:

- **Mano de Obra:** Se manifiesta por las horas hombre utilizadas para la ejecución de una actividad, por ejemplo m² de desencofrado de pantalla / hh utilizadas.
- **Equipos:** Es similar a la mano de obra con la diferencia que a ahora son horas por el equipo empleado, por ejemplo m³ de acarreo de material / hm utilizadas.
- **Materiales:** Utilizado en aquellos procesos donde los materiales tengan alta incidencia, por ejemplo ml de subdren / m³ de material filtrante tipo I.

Conforme se fueron efectuando estudios del tiempo en que los trabajadores lo empleaban durante la ejecución de cada actividad en el sector de la construcción se fueron considerando tres tipos de trabajo. Serpell (11).

- **Trabajo Productivo (TP):**

Concierne a los trabajos que aportan de manera directa a la producción, como por ejemplo tenemos: El compactado del cuerpo de un mejoramiento, conformado de la base del mejoramiento, refinado de la corona de un mejoramiento, etc.

- **Trabajo Contributorio (TC):**

Es el trabajo de apoyo que se necesita para que se pueda realizar el trabajo productivo, pero que no aportan valor a la construcción, como por ejemplo tenemos: Reuniones entre los involucrados, charlas de seguridad, controles de calidad, plantillados topográficos, etc.

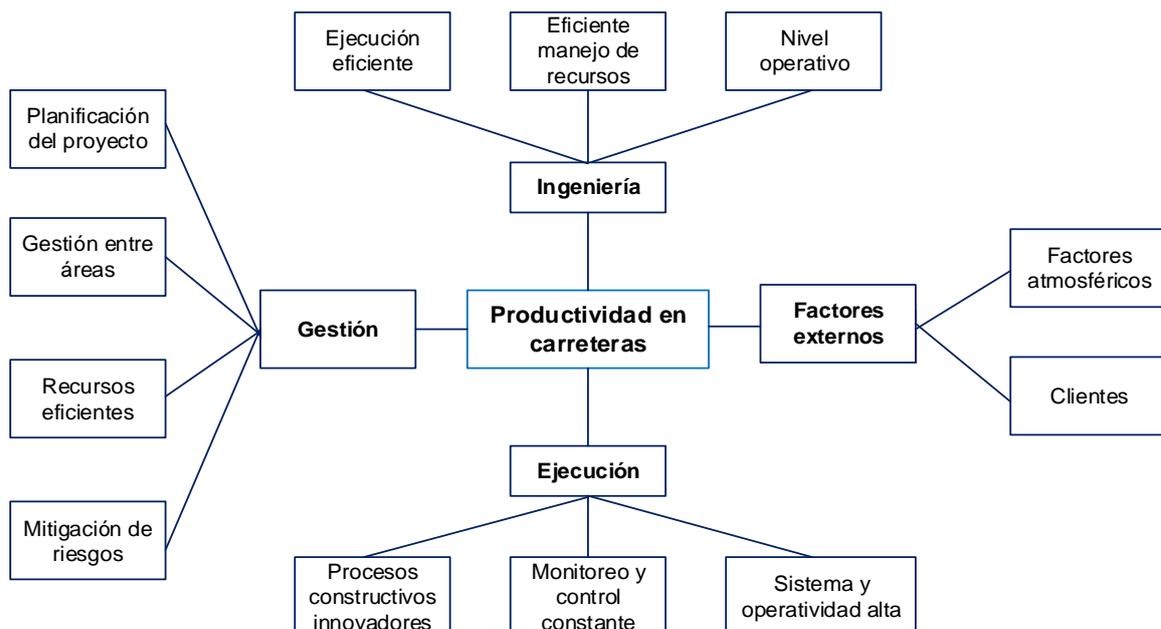
- **Trabajo No Contributorio (TNC):**

Es aquel trabajo que no generan ningún valor a la actividad, es por ello que se establecen como pérdidas, ya que son improductivas y que tienen un costo, por lo tanto se busca mitigarlas o eliminarlas para estandarizar el proceso productivo, como por ejemplo: Paras de todo tipo, descansos, trabajos rehechos, etc.

2.2.3.1. Productividad en la construcción de carreteras

La productividad en los proyectos viales dependerá de todas las áreas involucradas, el proceso constructivo empleado y al ser efectuadas comúnmente en zonas rurales se encuentran expuestas a factores climáticos que tendrán gran repercusión en la ejecución eficiente de los trabajos, la figura 3 muestra los factores más influyentes en la productividad en la construcción de carreteras.

Figura 3: Factores influyentes en la productividad de carreteras



Fuente: Propia

Los factores mencionados son las más concurrentes para que la ejecución de carreteras tenga una alta productividad, de igual manera se debe tener en cuenta los tipos de contrataciones efectuadas por el estado, ya que el diseño efectuado en los expedientes técnicos están fuera del alcance del ejecutor.

2.2.4. PROCESOS DE MEJORA EN LA PRODUCCIÓN DE CARRETERAS

Los objetivos de todos los proyectos viales son de obtener la mejor calidad, cumplir con los cronogramas establecidos y generar las mejores utilidades posibles. Es por eso que se necesita un sistema de producción efectiva en carreteras que permita llegar a los objetivos mencionados.

2.2.4.1. Control de pérdidas y clasificación

Anteriormente se pensaba que las pérdidas presentes en la ejecución de proyectos civiles solo eran por los materiales (material granular, emulsión asfáltica, etc.) y esto por la concepción antigua en donde solo se podía identificar los desperdicios físicos por ser más fáciles de observar. La nueva filosofía señalada anteriormente permite encontrar las diferentes clases de pérdidas que se van presentando en campo. Las pérdidas se van presentando por diferentes factores como el proceso constructivo, calidad, seguridad, tiempos que no agregan valor y que generan paras, esperas, retrabajos, disminuyendo el valor del entregable fina. Koskela (8).

Después de la observación de diferentes procesos de producción Shingo (12) clasifica las pérdidas de la siguiente manera:

- Pérdidas originadas por la sobreproducción.
- Pérdidas originadas por tiempos de espera.
- Pérdidas originadas por el sistema de producción.
- Pérdidas originadas por transportes
- Pérdidas originadas por exceso de inventarios.
- Pérdidas originadas por procesos u operaciones.

- Pérdidas originadas por defectos constantes de producción.

A las pérdidas identificadas Plossl (13) adiciona otras tres categorías que son de igual de importantes que se debe tener en cuenta:

- Pérdidas originadas por las personas.
- Pérdidas originadas por el tiempo.
- Pérdidas originadas por la burocracia de la organización.

Conocida las pérdidas es necesario clasificarlas para poder gestionarla con mayor facilidad. Koskela y Bolkiven llegan a la conclusión de la necesidad de desarrollar una lista completa con las pérdidas más comunes que se presentan en la construcción, esta clasificación se presentó en función de la teoría Transformación - Flujo – Valor, a continuación se muestra lo expuesto en la siguiente tabla:

Tabla 1: Clasificación de pérdidas

	Transformación	Flujo	Valor
Recurso	Materiales, equipos, fuerza laboral	Tiempo	-
Tipo de pérdida	Pérdida Material	Pérdida de Tiempo	Pérdida de Valor
Pérdidas	1. Desperdicio de materiales. 2. Uso excesivo de HM 1. 3. Uso excesivo de HH.	En el Flujo de Trabajo 1. Movimiento excesivo de personal 2. Re-Trabajos 3. Trabajos ineficientes 4. Esperas En el Flujo del Producto 1. Espacio libre sin trabajar 2. Materiales acumulados 3. Excesivo transporte de materiales	En el Producto 1. Defectos 2. Producto no satisface al cliente Por el Producto 1. Emisiones contaminantes 2. Lesiones y enfermedades debido al producto

Fuente: “The Wastes of production in construction – A TFV based taxonomy

2.2.4.2. Mejora de la productividad aplicando Lean Costruction

A pesar de las difusiones emitidas en años anteriores sobre esta filosofía es aun complicado el entendimiento de la teoría, y esto porque la aplicación en la construcción es más compleja que los procesos manufactureros e incluso de los autores más importantes existen muchas contradicciones que impiden tener una visión clara de la metodología por las implementaciones defectuosas que se vienen dando. Wandhal (14).

Las restricciones mencionadas son tal vez las más resaltantes que impiden el desarrollo efectivo de la filosofía Lean en los procesos constructivos, en tal sentido desarrollamos una análisis más detallado para lograr los objetivos del presente estudio. Desde el punto de práctico Lean Thinking está compuesto de dos principios principales que son: el método que para la producción cuando se detecta un defecto (Jidoka) y el método que asegura un proceso de producción eficiente (Just-In-Time). Inokuma (15).

Estas ideas fueron evolucionando, adaptadas y empleadas en el sector de la construcción por medio de bases teóricas como la gestión de la calidad y la gestión de la productividad (basado en determinar el tiempo de cada actividad de manera óptima). Siguiendo esta línea la filosofía Lean incluye 3 ítems principales en el sector de construcción:

- Aseguramiento de la calidad por medio de la detección de defectos y soluciones durante el proceso constructivo.
- Estandarización de la productividad mitigando o eliminando las pérdidas por medio de la mejora de la línea de producción de cada proceso, controlando el tiempo real con lo planificado.
- Mejora continua de los ítems anteriores.

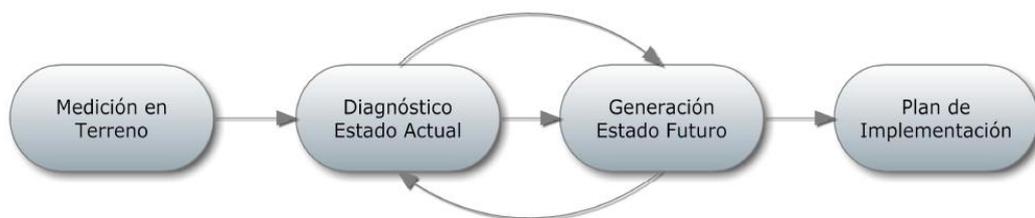
La gran mayoría de los casos que tuvieron éxito, se dieron cuando se aplicaron correctamente las herramientas de Lean Costruction teniendo en cuenta los principios principales de la filosofía (ver figura 2), debido a que facilitan la ejecución de los proyectos civiles.

2.2.4.2.1. Mapa de flujo de valor - MFV

El mapa de valor es una metodología de Lean Construction basado en revisar y comprender un proceso o actividad identificando sus desperdicios, aplicando esta herramienta se podrá identificar los problemas que se van presentando en cada flujo de la construcción para luego planificar e introducir mayores recursos y de esta manera mejorar la productividad.

Rother y Shook (16) menciona que el MFV corresponde al flujo de procesos que se van ejecutando para posteriormente ser entregadas a los clientes, desde el instante en que esta haga un requerimiento hasta que lo reciba, estos procesos pueden agregar valor (avance directo de la construcción) o en caso contrario ser un desperdicio (paras, errores, procesos innecesarios, etc.). El siguiente esquema muestra el orden que se efectúa en la herramienta para su implementación.

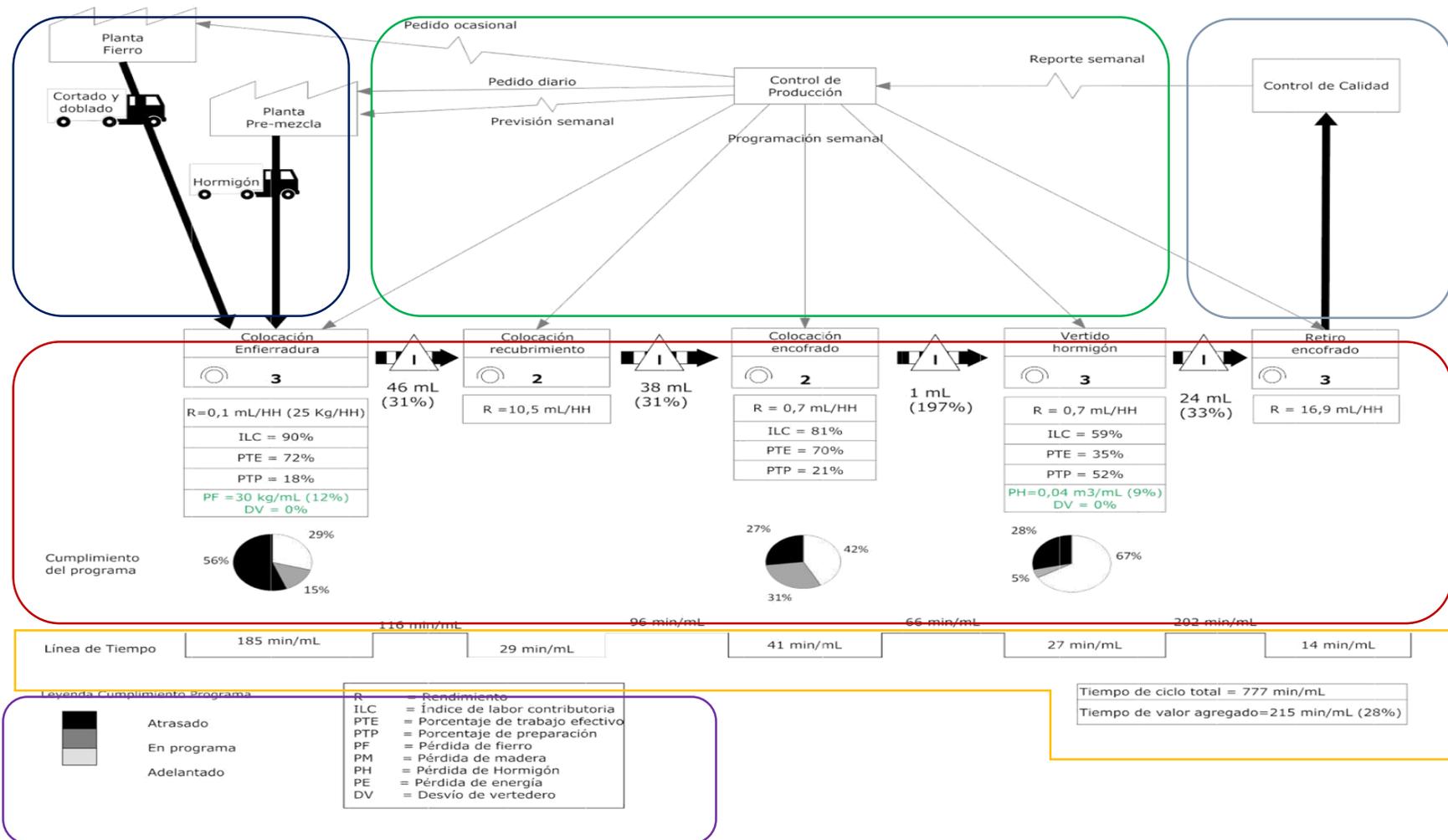
Figura 4: Metodología del mapa de flujo de valor



Fuente: “Learning to see” Rother y Shook, 1999).

Un requisito imprescindible para ejecutar el MFV es que los procesos a ejecutar deben ser constantes y repetitivos en todo el proyecto, posteriormente se efectuará un análisis del estado actual de los flujos de procesos para identificar las causas de las pérdidas para luego mitigarlas o eliminarlas. Rosenbaum (17) efectuó un formato del MFV para tener una mejor comprensión de los mapas, denotando las etapas de la ejecución de cada actividad como se muestra en la figura 5.

Figura 5: Formato de MFV



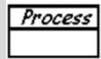
Fuente: Aplicación de Mapas de Cadena de Valor para detección de pérdidas productivas y medioambientales”, Rosenbaum, 2012

La figura anterior muestra los diferentes sectores (marcado en cada cuadro de diferente color) que se encuentran en un MFV y que se detallan a continuación:

1. Sector de recursos (insumos).
2. Sector de flujos de información.
3. Sector de entrega de productos.
4. Sector de conversión e indicadores.
5. Sector de la línea de tiempo.
6. Sector de lectura o leyenda.

El MFV tiene un lenguaje propio (símbolos) con la que se trata de tener una mejor interpretación de la esquematización de la misma, la tabla 2 detalla los símbolos que se requieren.

Tabla 2: Simbología de los MFV

Símbolo	Nombre	Alcance
	Agente externo	Representa un proveedor o cliente (recursos)
	Proceso de conversión	Muestra un proceso de conversión tecnológica por el cual fluyen los recursos
	Supermercado	Representa una fuente de acumulación de recursos o de trabajo (inventarios), necesarios cuando los flujos se paran.
	Flujo empujado	Simboliza una unidad de flujo siendo movilizada por la producción hacia la próxima.
	Inventarios	Muestra la presencia de inventarios de trabajos en proceso o actividades finalizadas.
	Control de producción	Señala todos los departamentos de producción que están a cargo de los frentes de trabajo en campo.
	Información manual	Representa un flujo de difusión ya sea verbal, radial, etc.
	Información electrónica	Muestra los flujos de información electrónicos.

	Puesto Kanban	Señala la cantidad de productos que se dan de un proceso a otro, monitoreados por un puesto de tarjetas kanban.
	Transporte	Simboliza el transporte de materiales que se utilizaran en cada proceso.
	Evento Kaizen	Representa las mejoras a plasmar en determinadas etapas del mapa.
	Kanban en retiro	Muestra el flujo de tarjetas de Kanban que señalan la cantidad de productos o trabajos que deben ser retirados del trabajo para darlo a otro proceso.
	Casilla de datos	Simboliza los ítems que caracterizan a cada proceso de conversión.
	Flujo jalado	Señala los flujos que se movilizan respecto al requerimiento de los siguientes procesos.
	Operarios	Muestra la cantidad de operarios que un proceso posee.
	Línea de tiempo	Representa los tiempos de actividades que agregan valor y no a los procesos.

Fuente: "Aplicación de Mapas de Cadena de Valor para detección de pérdidas productivas y medioambientales", Rosenbaum, 2012

Una vez identificado el proceso general del MFV se debe superar las restricciones que se presentan en la ejecución de cada proceso en la construcción:

- Es de suma importancia que cada área del proyecto debe estar capacitada con estos temas (Lenguaje Lean Construction).
- Los procesos a ejecutar deben ser constantes y repetitivos para que se puedan estandarizar los trabajos de manera única para no tener variabilidades (riesgo permanente en la construcción) que afecten a cada proceso.
- Se requiere manejar todos los datos de control posibles para tener un monitoreo eficiente de cada proceso del proyecto.

- Se debe tratar de mantener tiempos fijos de cada proceso (ciclos, inventarios, etc.), para manejar los flujos de cada proceso de la mejor manera.

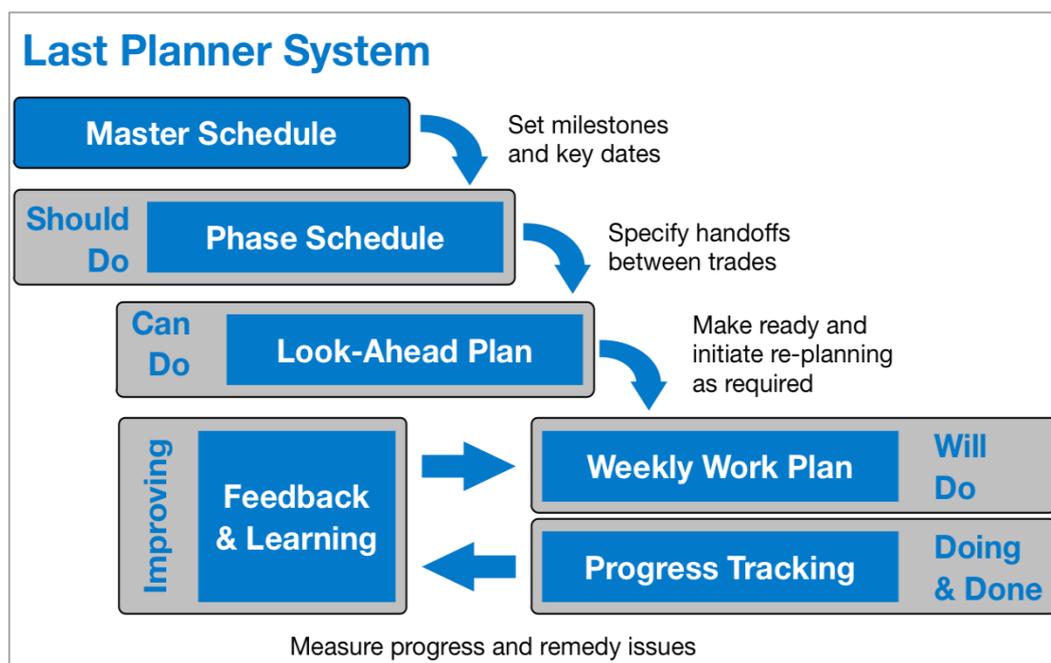
Por medio de la elaboración de un flujo de valor se podrá establecer la secuencia de procesos que más o mejor impacto van a crear sobre los clientes, incrementando la productividad, reduciendo la variabilidad y generando un mejor valor de los proyectos civiles

2.2.4.2.2. Planificación y control de la producción (Last Planner)

Las pérdidas en la construcción se van presentando a lo largo del proyecto y en oportunidades en gran magnitud. Ballard (18) menciona que las pérdidas que se van generando en los proyectos civiles son a consecuencia de la pobre planificación de las actividades, que a su vez crean gran variabilidad en la productividad de las mismas, reduciendo la probabilidad de llegar a las metas establecidas a inicios de cada proyecto de construcción, por ello la necesidad de incorporar planificaciones en la programación desde niveles generales (cronograma maestro general), hasta niveles específicos (programaciones semanales y diarias).

El objetivo principal de utilizar el Last Planner es tener el control de todas las actividades ejecutadas y por ejecutar corrigiendo las posibles restricciones que se vienen presentando y que paran los flujos de procesos permitiendo mejorar la productividad del proyecto. La figura 6 representa la programación que maneja el Last Planner por niveles.

Figura 6: Programación del Last Planner por niveles



Fuente: <http://ennova.com.au/blog/2011/09/agile-lean-compared-applied-construction>, visita realizada el 29 de julio del 2016)

Si bien este sistema es conocido y difundido en el sector de la construcción por las diferentes empresas incluso utilizado como un sistema de integración entre las diversas áreas como la producción, calidad, recursos, seguridad, etc., la gran mayoría de proyectos que efectúan esta metodología efectúan las programaciones intermedias (look Ahead) con un deficiente análisis de las restricciones que se van presentando y lo más llamativo es que obvian un nivel superior que es la Planificación por fases (Phase Schedule) que es de suma importancia ya que esta se viene implementando pero con mayor difusión en construcciones de estructuras y no en las demás ramas, esta etapa ayuda a identificar y levantar anticipadamente las restricciones que se van mostrando a los largo del proyecto conjuntamente con todas las áreas involucradas por medio de pizarras de planeamiento. La figura 7 representa una sesión típica efectuando el planeamiento de fases (Pull Phase) de actividades de un proyecto.

Figura 7: Planeamiento de fases “Pull Phase” en pizarras de planeamiento



Fuente: <https://www.tradelineinc.com/reports/2013-11/selecting-most-appropriate-and-lean-design-strategies>, visita realizada el 10 de noviembre del 2016

También cabe resaltar que las planificaciones posteriores a la planificación intermedia (look Ahead) como las programaciones semanales y diarias no son ejecutadas eficazmente (falta de comunicación con los involucrados en campo), es por ello la importancia de ejecutar todos los niveles del sistema. Esta metodología es muy útil pero se debe completar con otras aplicaciones mejoras en la calidad o un sistema de compromiso de los involucrados con el área de producción, de esta manera se busca comprender que los últimos planificadores de las actividades sean los jefes de campo (ingenieros y capataces).

2.2.4.2.3. Otras herramientas de Lean Construction

La metodología maneja otras herramientas a las mencionadas anteriormente que aportan significativamente en la productividad por ejemplo si se ve muchos problemas en una actividad y se necesita una mejora inmediata se puede utilizar los 5 ¿por qué?, por ello la importancia de utilizar estas herramientas, de igual manera se debe conocer que cada una de estas herramientas se utilizaran siempre y cuando se cumplan con las características tiene cada una. La tabla 3 muestra las herramientas que maneja la filosofía Lean Construction y que se utilizaran en el presente caso de estudio para la mejora de la productividad de los proyectos civiles.

Tabla 3: Herramientas del Lean Construction

Herramienta	Descripción	Grado de implementación
Justo a Tiempo (Just in Time)	Basado en distribuir los recursos que se requieren y cuando lo requieren en los frentes de trabajo, de esta manera se trata de eliminar los inventarios.	Difícil
Tarjetas Kanban	Se utilizan tarjetas que indican la cantidad de piezas que requiere el proceso siguiente. Esta herramienta se utiliza en procesos que involucran numerosas etapas como por ejemplo la partida de habilitado de encofrados,	Difícil
Diagramas de flujo	Se mapea todos los procesos que se requieren dentro del proceso asignando tiempos y responsabilidades.	Moderado
Los 5 ¿por qué?	Se busca la causa raíz de los problemas y por lo general se hallan al preguntar 5 veces ¿por qué? A la restricción encontrado.	Moderado
Diagramas Causa-Efecto y Árbol de causas	Basado en utilizar diagramas que enumeran mediante gráficos las relaciones de causa - efecto que originan los efectos negativos.	Moderado
Reducción del tamaño del lote de transferencia	Al minimizar los tamaños de lotes de transferencia se reduce el tiempo total de ejecución y se minimizan los inventarios.	Moderado
Sistemas basados en jalar	Basado en ejecutar el sistema en función a los requerimientos del último proceso de la cadena de producción para reducir inventarios entre cada proceso.	Moderado
Estandarización de trabajos	Son procedimientos estandarizados para reducir la variabilidad durante la ejecución de cada proceso utilizando los sistemas de gestión de calidad.	Moderado

Círculos de mejora continua	Se efectúa por medio de lecciones aprendidas que se van adquiriendo a lo largo de los procesos y se trata de encontrar soluciones a problemas detectados conjuntamente con todos los involucrados.	Fácil
Reuniones diarias de planeamiento (Pre-task planning)	Se utiliza mediante reuniones diarias entre los involucrados antes de iniciar cada actividad y mitigar los posibles riesgos que se podrían encontrar.	Fácil
Las 5 "S"	Se utiliza para detectar pérdidas a consecuencia de falta de orden, limpieza y la poca estandarización de trabajos en las actividades en proceso.	Fácil

Fuente: Koskela, 1992; Wodalski, 2013

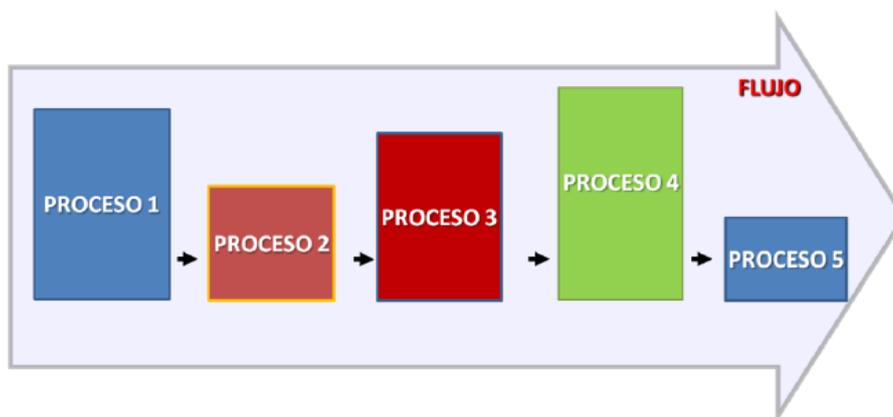
2.2.4.3. Sistema de producción efectivo

La filosofía Lean Construction busca la forma de cumplir los objetivos mencionados y una mejora en la productividad teniendo en cuenta 3 objetivos en el siguiente orden:

2.2.4.3.1. Asegurar que los flujos que no paren:

Para obtener el primer paso se busca que el flujo del proceso sea continuo y se debe asegurar que los flujos no paren. Casi siempre es notorio que la continuidad en las actividades de construcción se ven paradas debido a situaciones que se van presentando como los retrabajos por malos trabajos ejecutados, la falta de recursos, constantes cambios de diseño, falta de información e interacción entre los involucrados, etc. Para mitigar o controlar estas pérdidas, es necesario obtener mayor confiabilidad en el sistema.

Figura 8: Modelo de aseguramiento de flujo



Fuente: Capítulo Peruano LCI

La imagen muestra la primera etapa con una continuidad óptima de la actividad en general, pero se observa que cada proceso es diferente que trae consigo pérdidas por la gran variabilidad que se nota en cada proceso y a su vez los flujos también serán distintos, para reducir estos riesgos Lean Construction propone ejecutar dos acciones correctivas que reduzcan o eliminen estas pérdidas:

- **Manejo correcto de la variabilidad:** Al presentarse situaciones inesperadas que no se pueden controlar ni tampoco saber el momento y el lugar exacto de su ocurrencia (lluvias, huelgas, problemas con la población, etc.), se sugiere efectuar una planificación desde sus inicios empleando diversas estrategias para eliminar o reducir su incidencia, comúnmente se emplea los “Buffers” o “Colchones” para manejar con mayor efectividad la variabilidad teniendo en cuenta que la reducción de la misma es la clave para minimizar los plazos y costos, a continuación mostramos los tres tipos de buffers:
 - **Buffers por Capacidad:** Se refiere a dejar procesos sin ejecutar que puedan suplir en algún instante del proyecto donde no se tengan frentes de trabajo y

existan paras, por ejemplo dejar algunos paños de cunetas sin vaciar para que después lo hagan cuando existan retrasos de los encofrados.

- Buffers por Inventario: Menciona a tener una reserva de recursos que se puedan emplear cuando existan retrasos, por ejemplo tener material granular de reserva si se requiera por problemas de cubicación o desperdicios.
- Buffers por Tiempo: Se refiere a tener tiempo en días que se puedan utilizar para efectuar otros procesos, por ejemplo no considerar los días domingos de trabajo para tener una holgura en el tiempo.
- **Sistema Last Planner:** Planificación por fases (Pull Phase), programación intermedia (Lookahead), programación semanal, programación diaria, análisis de restricciones, porcentaje de plan cumplido (PPC)

En una herramienta donde se analiza la programación del proyecto a ejecutar con mayor detalle teniendo en cuenta un horizonte de tiempo mediano y a corto plazo, supervisando todo aquello que no nos permite avanzar con las actividades, siendo levantada en su debido momento.

La aplicación de este sistema es más frecuente en proyectos de edificaciones, aunque se ve cada vez más notorio en otras áreas como las carreteras, este sistema se efectúa de la siguiente manera:

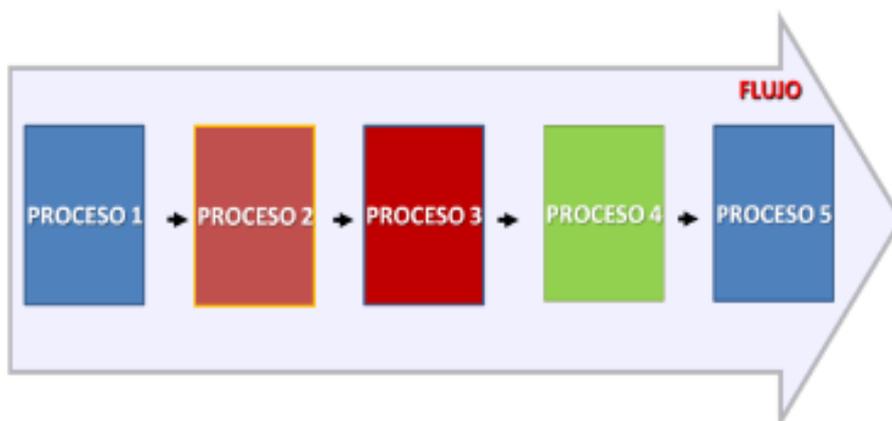
- Primer paso: Planificación de trabajo en general del proyecto (plan maestro).
- Segundo paso: Planificación mediante pizarras de planeamiento entre todos los involucrados y levantar las restricciones.

- Tercer paso: Elaboración del lookahead (planificación intermedia) para un espacio de 4 a 6 semanas, realizando el respectivo análisis de restricciones con la finalidad de eliminar los cuellos de botella.
- Tercer paso: Realización de la programación semanal y diaria teniendo en cuenta lo obtenido con el lookahead y las restricciones levantadas.
- Cuarto paso: Efectuar las verificaciones de cumplimiento de la programación semanal, sustentando las restricciones de no cumplimiento de las planificaciones.

2.2.4.3.2. Obtener flujos eficientes

Al conseguir el aseguramiento del flujo, el segundo objetivo es tener flujos eficientes teniendo en cuenta que las actividades puedan dividirse de manera equitativa, al efectuar este sistema se busca que la producción diaria sea la misma de forma constante.

Figura 9: Modelo de flujos eficientes



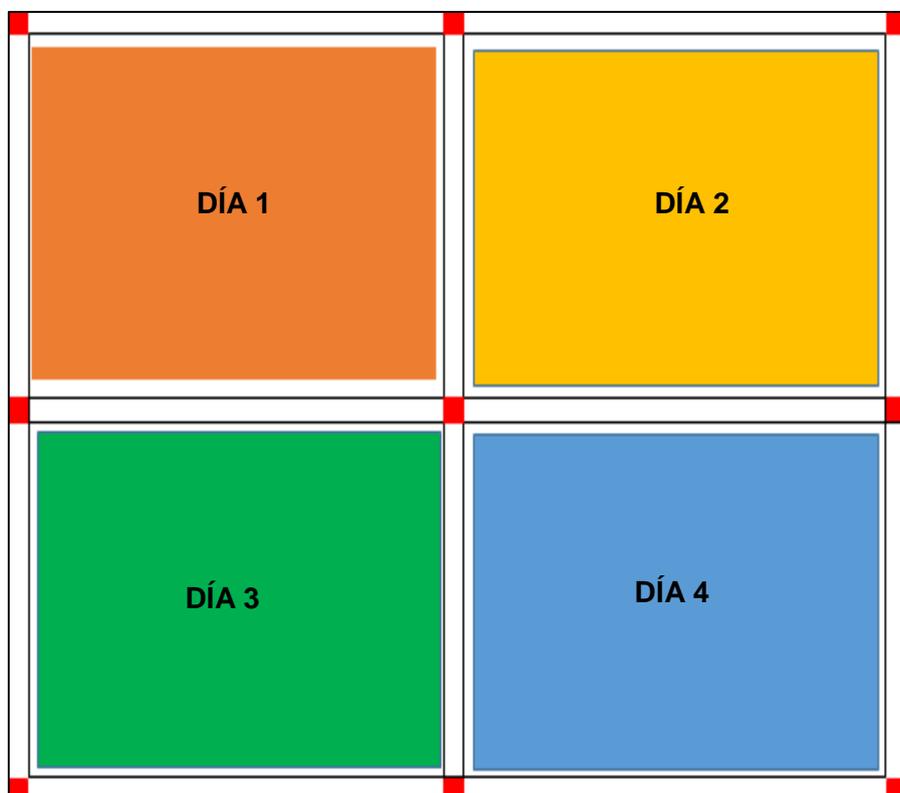
Fuente: Capítulo Peruano LCI

Para efectuar este paso se realiza diferentes herramientas como:

- **Sectorización**

Consiste en la división de una actividad de la obra en áreas pequeñas de la tarea total, que deben ser equivalentes a las diferentes actividades, de igual manera deben ser efectuados en un día a la misma vez y así consolidar un flujo continuo entre cada sector.

Figura 10: Ejemplo de sectorización de vaciado de una losa



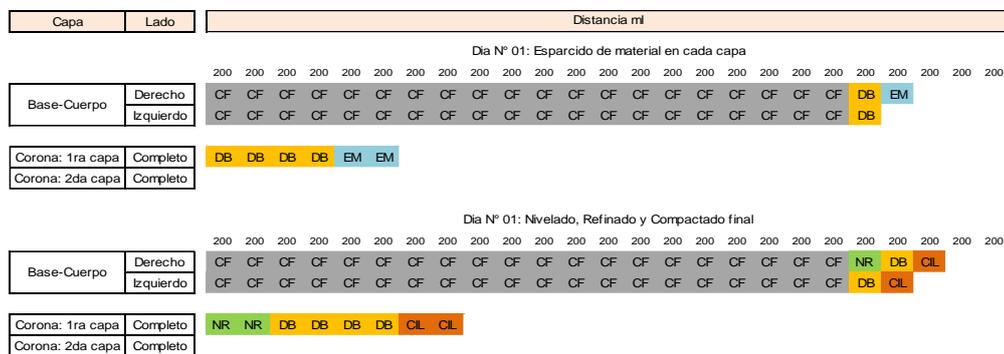
Fuente: Propia

Al efectuar este sistema se podrá dimensionar las cuadrillas por cada área optimizando los rendimientos de cada cuadrilla.

- **Tren de actividades**

Este sistema es similar a las líneas de producción de las industrias, en las cuales el entregable avanza a lo extenso de varias puntos modificándose en cada una de ellas. En el caso de la construcción lamentablemente no es similar a una industria automatizada como las fábricas y no se puede transportar el producto a lo extenso de varias estaciones, por lo expuesto es que se diseñó el sistema de tren de actividades, en la cual las cuadrillas de trabajo avanzan en fila india uno tras otro por medio de las sectorizaciones de trabajo establecidos precedentemente, el objetivo es alcanzar un proceso continuo y ordenado de las actividades, de igual forma monitorear y controlar de manera sencilla los avances a través de la posición de las cuadrillas de trabajo en un tramo establecido.

Figura 11: Ejemplo de tren de actividades para terraplén M.S.N.S.



Fuente: Propia

Las ventajas que nos ofrece la aplicación de esta metodología son:

- Mejora de la productividad de cada actividad.
- Control de pérdidas diario.
- Avance continuo de cada proceso seleccionado.
- Reducción de la variabilidad.
- Retrabajos mitigados.

2.2.4.3.3. Obtener procesos eficientes

El último paso para alcanzar un sistema efectivo la filosofía Lean Construction busca obtener procesos eficientes, utilizando herramientas que optimicen cada proceso como las cartas balance y el nivel general de actividad, utilizando estos métodos se identificará los problemas que se presentan a diario y las maneras de como revertir hasta lograr optimizarlo.

Figura 12: Modelo de flujos con procesos eficientes



Fuente: Propia

Lo que se busca es proporcionar eficientemente los procesos y los recursos de cada actividad, eliminando los desperdicios de cada proceso y así obtener el sistema de producción efectivo para mejorar la productividad en el proyecto y cumplir con los plazos establecidos.

CÁPITULO III

PROYECTO DE TERRAPLÉN PARA M.S.N.S. DE CARRETERA ASFALTADA

3.1. DESCRIPCIÓN DEL CASO DE ESTUDIO

3.1.1. INFORMACIÓN GENERAL DEL PROYECTO

Utilizaremos como caso de estudio la ejecución del terraplén para mejoramiento de suelo a nivel subrasante del proyecto: Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Huancavelica–Lircay, tramo 2: Antachancha–Lircay Km. 36+000 - Km. 73+505, ubicado en la provincia de Angaraes, departamento de Huancavelica (plano general en los anexos).

Figura 13: Ubicación del proyecto



Fuente: Ruta Nacional PE – 26B, ubicado en las provincias de Huancavelica y Angaraes (Lircay).

El proyecto es desarrollado en la región puna capital del departamento del mismo nombre a una altitud promedio de 3780 msnm, alcanzando en el Km. 20+420 una cota máxima de 4,400 msnm, hasta llegar a la localidad de Lircay que tiene una altitud de 3,250 msnm, debido a este cambio la geografía de la zona es muy accidentada. En este tramo se encuentran volúmenes de corte cerrado y en ladera, igualmente volúmenes de relleno, también existen zonas pobladas a lo extenso del tramo.

3.2. ALCANCE GENERAL

El proyecto contempla trabajos de rehabilitación hasta el nivel de la carpeta asfáltica en caliente con un ancho promedio de 7m (calzada 6m y 1m de bermas laterales), incluyendo la ejecución de las obras de arte. La tabla 4 muestra los metrados de las partidas más importantes del proyecto:

Tabla 4: Partidas principales del área de Movimiento de tierras

Partida	Und.	Metrado contractual
Movimiento de tierras		
Excavación en material suelto	m3	764,545.00
Excavación en roca suelta	m3	228,250.97
Excavación en roca fija	m3	331,158.36
Conformación de terraplenes	m3	158,775.39
Mejoramiento de suelos a nivel subrasante	m3	54,781.35
Sub bases y bases		
Sub base granular	m3	56,173.41
Base granular	m3	52,573.21
Pavimento asfáltico		
Imprimación asfáltica	m2	332,218.56
Concreto asfáltico en caliente	m3	24,526.50
Transporte		
Transporte de material granular para $d \leq 1$ km	m3-km	288,248
Transporte de material granular para $d > 1$ km	m3-km	4,731,518
Transporte de mezcla asfáltica para $d \leq 1$ km	m3-km	24,527
Transporte de mezcla asfáltica para $d > 1$ km	m3-km	796,981
Transporte de roca de cantera para $d \leq 1$ km	m3-km	1,351
Transporte de roca de cantera para $d > 1$ km	m3-km	118

Fuente: Expediente técnico del Proyecto Carretera Huancavelica – Lircay, tramo 2, Km 36+000-Km 73+505, Consorcio Vial Jaylli, 2013

3.2.1. REVISIÓN DEL ALCANCE A ESTUDIAR

Agruparemos las actividades en el proceso del terraplén para mejoramiento de suelo a nivel de subrasante de una pavimentación asfáltica.

- Extendido y compactado de la base.
- Extendido, nivelado y compactado del cuerpo.
- Extendido y compactado de la corona.

De la misma manera agruparemos los procesos que se requieren para efectuar la ejecución de los mejoramientos.

- Preparación y transporte del material para efectuar la base.
- Preparación y transporte del material para realizar el cuerpo.
- Preparación y transporte del material para ejecutar la corona.

Es importante determinar todos los procesos que sean necesarios para la ejecución de los mejoramientos por su incidencia en el tiempo y costo de la actividad, de la misma forma para efectuar un flujo de trabajo continuo y sin restricciones.

De la misma manera al identificar el procedo critico se podrá mitigar los problemas y sus causas que afectan en la productividad de los mejoramientos.

3.3. EVALUACIÓN DE LA ACTIVIDAD CRÍTICA

La información de esta investigación será correspondiente al mes de setiembre del 2015, este mes corresponde al mes N° 07 de los 24 meses que contempla el proyecto según el cronograma interno, donde se superó la demasiada variabilidad que se presentaba en los primeros meses (enero – febrero), específicamente por agentes externos como la época de lluvias intensas y por la cual se acorto las cuadrillas de trabajo en la ejecución de las diferentes actividades del proyecto.

Las emisiones efectuadas por Oficina Técnica específicamente en las reuniones de Valor Ganado muestran el informe semanal de producción (ISP) relativamente al costo, tiempo y calidad acumulada hasta el presente mes, Efectuamos un resumen de los procesos que son relevantes en la ejecución del pavimento asfáltico de la carretera en la siguiente tabla.

Tabla 5: Control de actividades del área de Movimiento de Tierras

Actividad	Responsable	Metrado Acum.	CPI Acum.	SPI Acum.
Excavación MS-RS	COT	70.01%	1.23	1.12
Excavación Roca Fija	COT	36.99%	1.12	1.15
Conformación de Terraplenes	COT	20.47%	0.92	0.97
Mejoramiento de Suelo a Nivel Subrasante	COT	26.97%	0.82	0.84
Subbase y Base Granular	COT	10.98%	0.85	0.72
Producción de Relleno	COT	29.16%	1.17	0.98
Transportes	COT	57.03%	1.21	1.08

Actividad crítica

Fuente: Valor Ganado, Agosto 2015, Carretera Huancavelica – Lircay

Dónde:

CPI: Cost Performance Index acumulado

SPI: Schedule Performance Index acumulado

El CPI (Índice de rendimiento de los costos) comprueba la eficiencia de los recursos o de los costos para una obra. Si al dividir el costo previsto con lo que realmente se dio en campo es mayor a 1 refleja que los recursos utilizados son menores a lo que se avanzó (ejemplo: m³ o ml) y si el CPI es menor a 1 refleja que el valor del trabajo realizado es menor al de los recursos utilizados.

De igual manera el SPI (Índice de rendimiento de cronograma) calcula la eficiencia del trabajo y el avance de la obra dividiendo el avance real en campo con el avance programado, si el valor es igual a 1, el avance real está igual al cronograma, si es mayor a 1 muestra que el avance del proyecto va adelante respecto a lo planificado y si el valor es menor a 1 refleja que el avance está retrasado con lo previsto.

La tabla 5 muestra el avance de las partidas más importantes y se constata que las partidas de excavaciones, producción de relleno y transportes de material tienen una producción óptima y esto a consecuencia de haber tomado las correcciones necesarias como las esperas y demoras, pero se logra observar que las actividades que tienen un desempeño pobre son las actividades ejecutadas en plataforma como el terraplén para mejoramiento de suelo a nivel subrasante ya que los valores acumulados son menores a 1 tanto en el

CPI y SPI, posiblemente por los tiempos improductivos generados por la poca interacción entre los involucrados, esperas por material, por equipos, etc. Esto nos da entender que se debe buscar procedimientos efectivos para corregir estos problemas.

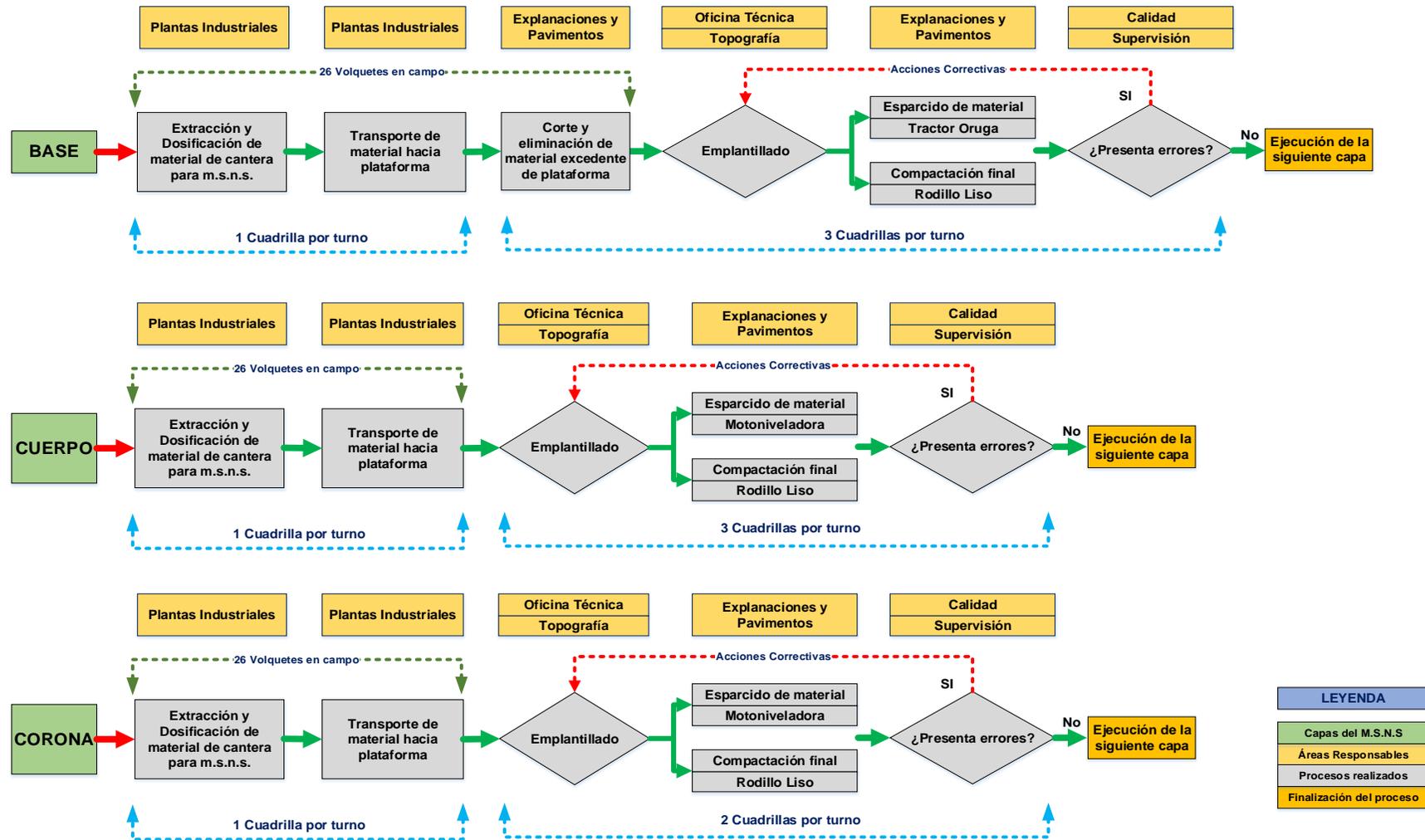
El terraplén para mejoramiento de suelo a nivel de subrasante son de suma importancia por ser la base del soporte estructural de una carretera y de esta depende la continuidad de las actividades posteriores como la ejecución de la subbase, base, imprimación y finalmente la carpeta asfáltica.

3.4. EVALUACIÓN ACTUAL DE LA PRODUCTIVIDAD

3.4.1. ANÁLISIS DE LA EJECUCIÓN DE LA ACTIVIDAD

No se puede efectuar las mediciones de productividad en campo sin antes comprender e identificar el desarrollo de los procesos efectuados, es por ello que se efectuó un mapeo de procesos de la ejecución del terraplén para mejoramiento de suelo a nivel subrasante, las tres capas que la componen (base, cuerpo y corona) tienen similares procesos constructivos con algunas diferencias que se pueden apreciar en el diagrama mostrado a continuación.

Figura 14: Mapa de procesos del terraplén para mejoramiento de suelo a nivel subrasante



Fuente: Propia

Las jornadas de trabajo son a doble turno (día y noche), en coordinación con la supervisión los mejoramientos son ejecutados en el turno día para los controles pertinentes, aunque hay subprocesos que se ejecutan en la noche como el corte y la eliminación del material excedente de la plataforma o la extracción y dosificación de materiales de las canteras.

3.4.2. DESCRIPCIÓN DE PROCESOS EJECUTADOS

Ahora explicaremos los trabajos que se efectúan durante la ejecución de esta actividad:

- **Extracción y dosificación de material de cantera para M.S.N.S:**

Es el material requerido por las capas de los mejoramientos extraídos de las canteras de la misma zona de trabajo (aprobado por la supervisión) y dosificado según las especificaciones que se presentan a continuación en la tabla 6.

Tabla 6: Requisitos de los materiales

CONDICIONES	PARTES DEL M.S.N.S		
	BASE	CUERPO	CORONA
Tamaño máximo	(*)	100 mm	75 mm
% Máximo de Piedra	30%	30%	
Índice de Plasticidad	< 11%	< 11%	< 10%

(*) Dependerá de la altura del terraplén para M.S.N.S. que varía de 0.15 m a 1.50 m.

Fuente: Adaptado del expediente técnico de la carretera Huancavelica – Lircay, 2015

Figura 15: Planta dosificadora de material para terraplén de M.S.N.S.



Fuente: Propia

- **Acarreo y descarga de material en la plataforma para las tres capas:**

Es el transporte y posterior descarga del material requerido (calculada en m³) para las capas del mejoramiento por medio de los volquetes solicitado por los jefes encargados de cada frente a los de planta.

Figura 16: Flota de volquetes de 15 m³ de capacidad aproximada.



Fuente: Propia

- **Corte y eliminación de material excedente de la plataforma:**

Consiste en excavar y eliminar las zonas de mejoramiento con los drenajes necesarios para el control y eliminación de aguas durante y después de los trabajos de construcción del mejoramiento.

Figura 17: Proceso de corte y eliminación de plataforma.



Fuente: Propia

- **Plantillado de las cotas topográficas para las tres capas.**

Una vez desbrozada y limpia la base del terreno se coloca las referencias marcadas cada 10 metros por los topógrafos en cada capa del mejoramiento.

Figura 18: Verificación de las alturas de cada capa.



Fuente: Propia

- **Esparcido del material para cada capa**

Es el proceso en la cual el material descargado se extiende en el área de trabajo, cada capa tiene una altura específica que está marcada con yeso en los laterales del terreno desbrozado.

Figura 19: Esparcido de material over en base.



Fuente: Propia

Figura 20: Esparcido de material granular para la corona



Fuente: Propia

- **Compactación final en las capas**

Cada capa requiere de un compactado homogéneo para cumplir con los parámetros establecidos en las especificaciones técnicas, la última capa en efectuar es la corona que tiene un espesor de 0.30 m, el compactado se efectúa en dos capas de 0.15 m cada una, esta última capa es relativamente más trabajosa ya que su proceso de ejecución es similar a la subbase o base.

Figura 21: Compactación final de la 2da capa de la corona.



Fuente: Propia

3.4.3. ANÁLISIS DE LOS PROCESOS PARA ENCONTRAR EL FLUJO DE PRODUCCIÓN

A continuación seleccionamos los indicadores más importantes que se tomaran en cuenta para realizar la mejora de la productividad en los M.S.N.S:

- Los trabajos son efectuados en 2 turnos y clasificados según el tipo de proceso.
- Los trabajos dependen casi en la totalidad por las máquinas que intervienen en este proceso (Tractores orugas, motoniveladoras, rodillos lisos compactadores, cisternas de agua y volquetes).

- Los procesos de ejecución son secuenciales y no se pueden efectuar una sin haberse liberado la capa anterior y esta secuencia básicamente es base-cuerpo-corona.
- El abastecimiento de material requerida en cada capa es interna.

De acuerdo a lo mencionado se tomó en cuenta algunos parámetros como los tiempos de trabajo, los costos, etc., que puedan brindarnos mejoras en la producción, a continuación detallamos los indicadores requeridos para este estudio:

3.4.3.1. Determinación del flujo de los M.S.N.S

Se conoce que el consorcio posee un sistema de gestión de producción (realizado por el área de Oficina Técnica), utilizando herramientas de la filosofía Lean Construction para cumplir las metas planificadas inicialmente, pero más que eso se requiere buscar y efectuar un sistema productivo óptimo en campo (**Mapa de flujo de valor**) que fortalezca al sistema general de producción, para los M.S.N.S requerimos tener en cuenta las siguientes consideraciones siguiendo las características de la metodología sugerida:

- La realización del mapa de flujo de valor será efectuado acorde al de la figura 14 que muestra los procesos de la actividad.
- Los datos cuantitativos obtenidos en campo (función del área de oficina técnica) serán importantes en este análisis.
- Si bien se conoce que las metas semanales y mensuales de esta y otras actividades tienen como unidad medible el metro cúbico (m³), para esta actividad será el metro lineal (ml).

3.4.3.2. Costo diferencial de la productividad (CDP)

Básicamente es la brecha de la producción presupuestado con lo obtenido en campo, analizamos la productividad de la actividad (monitoreado por el ingeniero de producción) en función al costo unitario, la información recolectada para efectuar este análisis se basa en las horas hombre (hh), horas máquina (hm) y el consumo del combustible

empleado en la actividad, como se mencionó anteriormente hay dos guardias para la ejecución de actividad que son controlados por separado pero que se contabilizan conjuntamente para el CPI o SPI.

La tabla 7 refleja la estructura principal de los procesos de ejecución de la actividad teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente en este punto que se efectúa en el turno día el terraplén del M.S.N.S.

Tabla 7: Control del terraplén para M.S.N.S.

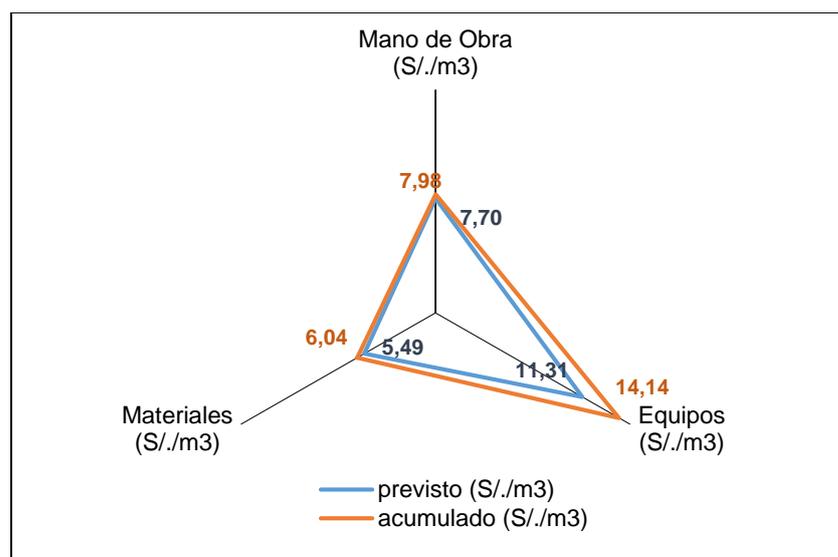
TURNO	DESCRIPCION	COMPOSICIÓN DE LA CUADRILLA			FOTOGRAFIAS
Mañana	La cuadrilla efectúa cada capa del terraplén para mejoramiento de suelo a nivel subrasante	Recurso	Cantidad	Rango	 Base
		Mano de Obra (Hh)	1 1 1 1 a 2	Capataz Operario Op. Tractor oruga Op. Motoniveladora	 Cuerpo
				 Corona	

			1 a 2	Op. Rodillo Compactador	
			1	Op. Cisterna de agua	
			1	Oficial	
			2	Peones	
			2	Vigías	
		Equipos (Him)	1	Tractor Oruga CAT D6T	
			1 a 2	Motoniveladora CAT 140K	
			1 a 2	Rodillo Liso de 12 TON	
			1	Cisterna de Agua 5000 GLN	
		Materiales	Combustible	Petróleo Biodiesel B5	
			5% de EQ	Get's de equipos	
			5% de MO	Herramientas manuales	

Fuente: Propia

Dependiendo a la capa (base, cuerpo, corona) se tomarán en cuenta la cantidad de mano de obra y equipos a usar, en las semanas de análisis se obtuvo como promedio general los siguientes valores

Figura 22: Diagrama del rendimiento promedio



Fuente: Propia

La grafica muestra que en el cumplimiento de la actividad se tiene muchas falencias que se ve resumido en el costo acumulado superando al previsto, a continuación se muestra un análisis más detallado que nos permitirá tener una mejor visión sobre lo que se está suscitando en campo:

Tabla 8: Recopilación del costo del terraplén para M.S.N.S

Turno	CU Previsto (S./m3)	CU Real (S./m3)	CU Diferencial (S./m3)
Mañana	24.50	28.16	-3.66

Fuente: Propia

El análisis del costo diferencial por metro cúbico (m3) muestra que los beneficios económicos en esta actividad no son las mejores y que afecta directamente a la producción.

3.4.3.3. Estudio de tiempos de la actividad

Este indicador es importante para detallar el estudio de la actividad, la investigación refleja la medición de los tiempos de trabajo (TP, TC, TNC) de los equipos que intervienen directamente en la ejecución de este proceso (tractor oruga, motoniveladora, rodillo), para efectuar este análisis se toman las siguientes consideraciones:

- El análisis o toma de datos se efectuó con la herramienta carta balance conjuntamente con el ingeniero de producción y el capataz a cargo de la partida.
- Se analizaron dos semanas de trabajo sin incluir los domingos (del 29 de agosto al 05 de setiembre del 2015) utilizando el formato de medición de tiempos de trabajo (mostrado en los anexos).
- El proceso constructivo de la actividad se efectúa en dos partes, primero se ejecuta la base y cuerpo conjuntamente, mientras que la corona en solitario, es por eso que se analizó por separado estos trabajos para precisar minuciosamente los tiempos no contributorios.

- La primera semana de estudio se analizó el trabajo de las dos primeras capas base-cuerpo, mientras que la siguiente semana se analizó exclusivamente la última capa en ejecución que es la corona.

Se muestra los datos generales de cada estudio en las siguientes tablas:

Tabla 9: Datos del análisis de la base – cuerpo terraplén M.S.N.S.

MEJORAMIENTO DE SUELO A NIVEL SUBRASANTE	
Capas	Base y Cuerpo
Ing. Producción	Ing. Carlos Orosco
Capataz de actividad	Sr. Rubén Jara
Fechas de estudio	29/08 al 05/09 del 2015 (7 días)
Distancia estudiada	1200 ml
Tiempo de jornada	07:00 a.m. al 06:00 pm (incluye refrigerio)

Fuente: Propia

Esta parte del proceso del mejoramiento se ejecuta por carril y no en plataforma completa debido a que al ser excavado restringiría el transporte de los vehículos, es por eso que se empieza por un carril ya sea derecho o izquierdo y una vez terminado se procede a ejecutar el otro carril si amerita el mejoramiento respectivo ya que existe tramos estables que no requieren mejoramientos en un carril o en ambos. A continuación mostramos la clasificación de los subprocesos para la ejecución de esta primera actividad.

Tabla 10: Clasificación de procesos de la base y cuerpo .

Trabajo Productivo	
Equivalencia	Tipo de trabajo
R	Compactación del terreno de fundación
S	Colocación de material in situ
T	Conformación de la base (roca-over)
U	Compactación de la base
V	Conformación y batido del cuerpo del mejoramiento (mat. Integral)
W	Nivelado del cuerpo (corte y relleno compensado)
X	Compactación del cuerpo
Y	Refinado del cuerpo
A4	Escarificado de capa con repper

Trabajo Contributorio	
Equivalencia	Tipo de trabajo
K	Charla de seguridad y llenado de AST
L	Recarga y ajuste de equipos a usar
M	Encendido de motor
N	Indicaciones
Ñ	Mediciones topográficas
O	Control de calidad inicial y final
P	Transporte y posición de arranque
Q	Elaborar reportes de campo

Trabajo No Contributorio	
Equivalencia	Tipo de trabajo
A	Espera por material
B	Parada por falla mecánica
C	Stand by (en espera)
D	Espera de cisterna de agua
E	Espera por personal de calidad
F	Espera por personal de topografía
G	Espera por personal de supervisión
H	Retrabajo
I	Otros trabajos no contributorios
J	Descanso

Fuente: Propia

Luego de la clasificación se efectuaron mediciones en campo con la herramienta carta balance por cada día. A continuación se ve el muestreo de una jornada:

Tabla 11: Muestreo de subprocesos capa base cuerpo, día lunes 31/08/15

NOMBRE DE PROYECTO:	Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera: Huancavelica – Lircay		
ACTIVIDAD:	Mejoramiento de Suelo a Nivel Subrasante		
CAPA:	Base – Cuerpo	TRAMO:	KM 50+980 - 50+900
RESPONSABLE:	Martínez	DIA:	Lunes 31/08/2015
DATOS DE CAMPO	660 mediciones		

N° DE MEDICIÓN	TIEMPO (MIN)	DESCRIPCION DE TRABAJO				COMENTARIOS
		MOTONIVELADORA	RODILLO COMPACTADOR	TRACTOR ORUGA		
1	07:01	K	K	K		
2	07:02	K	K	K		
3	07:03	K	K	K		
4	07:04	K	K	K		
5	07:05	K	K	K		
6	07:06	K	K	K		
7	07:07	K	K	K		
8	07:08	K	K	K		
9	07:09	K	K	K		
10	07:10	K	K	K		
11	07:11	K	K	K		
12	07:12	K	K	K		
13	07:13	K	K	K		
14	07:14	K	K	K		
15	07:15	K	K	K		
16	07:16	M	M	M		
17	07:17	M	M	M		
18	07:18	M	M	M		
19	07:19	M	M	M		
20	07:20	M	M	M		
21	07:21	M	M	M		
22	07:22	M	M	M		
23	07:23	M	M	M		
24	07:24	M	M	M		
25	07:25	M	M	M		
26	07:26	C	F	F		
27	07:27	C	F	F		
28	07:28	C	F	F		
29	07:29	C	F	F		
30	07:30	C	F	F		
31	07:31	C	F	F		
32	07:32	C	F	F		
33	07:33	C	F	F		
34	07:34	C	F	F		
35	07:35	C	F	F		
36	07:36	C	F	F		
37	07:37	C	F	F		
38	07:38	C	F	F		
39	07:39	C	F	F		
40	07:40	C	F	F		
41	07:41	C	F	F		
42	07:42	C	F	F		
"	"	"	"	"		
"	"	"	"	"		
"	"	"	"	"		
"	"	"	"	"		
"	"	"	"	"		
653	17:53	Q	Q			
654	17:54	Q	Q			
655	17:55	Q	Q			
656	17:56	Q	Q			
657	17:57	Q	Q			
658	17:58	Q	Q			
659	17:59	Q	Q			
660	18:00	Q	Q			

Fuente: Propia

La tabla muestra los subprocesos que se fueron efectuando por cada máquina en un determinado tiempo de trabajo, luego de este análisis se efectuó la distribución de tiempos y porcentajes de cada subproceso que fueron interviniendo en la ejecución de las capas base – cuerpo para ver los que tienen mayor incidencia como se refleja a continuación:

Tabla 12: Distribución de tiempo de los subprocesos capa base-cuerpo, día lunes 31/08/15 .

ACTIVIDADES	TIPO TRAB.	LUNES		
		DÍA 31/08/2015		
		TIEMPO DE TRABAJO POR ACTIVIDAD (MIN)		
		MOTONIV.	ROD. COMPAC.	TRACTOR
Espera por material	TNC	30	0	13
Parada por falla mecánica	TNC	0	0	0
Stand by (en espera)	TNC	265	392	0
Espera de cisterna de agua	TNC	24	22	0
Espera por personal de calidad	TNC	0	0	12
Espera por personal de topografía	TNC	24	27	27
Espera por personal de supervisión	TNC	0	0	0
Retrabajo	TNC	0	0	0
Otros trabajos no contributivos	TNC	5	6	7
Descanso	TNC	0	0	0
Charla de seguridad y llenado de AST	TC	15	15	15
Recarga y ajuste de equipos a usar	TC	0	0	0
Encendido de motor	TC	23	10	10
Indicaciones	TC	6	6	0
Mediciones topográficas	TC	18	14	14
Control de calidad inicial y final	TC	22	32	20
Transporte y posición de arranque	TC	5	0	0
Elaborar reportes de campo	TC	0	0	0
Compactación del terreno de fundación	TP	0	12	0
Colocación de material in situ	TP	13	0	11
Conformación de la base (roca-over)	TP	0	0	54
Compactación de la base	TP	0	0	20
Conformación y batido del cuerpo del mejoramiento	TP	51	0	0
Nivelado del cuerpo (corte y relleno compensado)	TP	48	0	0
Compactación del cuerpo	TP	0	53	0
Refinado del cuerpo	TP	51	0	0
TOTAL		600	589	203

Fuente: Propia

Al tener la distribución de los tiempos se podrá realizar la distribución de porcentaje de cada subproceso y tener una idea más clara de aquellos que tienen más incidencia en los trabajos que no agregan valor a la ejecución de la actividad.

Tabla 13: Distribución de porcentaje de los subprocesos capa base-cuerpo, día lunes 31/08/15.

ACTIVIDADES	TIPO TRAB.	LUNES		
		DÍA 31/08/2015		
		PORCENTAJE DE TRABAJO (%)		
		MOTONIV.	ROD. COMPAC.	TRACTOR
Espera por material	TNC	5%	0%	6%
Parada por falla mecánica	TNC	0%	0%	0%
Stand by	TNC	44%	67%	0%
Espera de cisterna de agua	TNC	4%	4%	0%
Espera por personal de calidad	TNC	0%	0%	6%
Espera por personal de topografía	TNC	4%	5%	13%
Espera por personal de supervisión	TNC	0%	0%	0%
Retrabajo	TNC	0%	0%	0%
Otros trabajos no contributorios	TNC	1%	1%	3%
Descanso	TNC	0%	0%	0%
Charla de seguridad y llenado de AST	TC	3%	3%	7%
Recarga y ajuste de equipos a usar	TC	0%	0%	0%
Encendido de motor	TC	4%	2%	5%
Indicaciones	TC	1%	1%	0%
Mediciones topográficas	TC	3%	2%	7%
Control de calidad inicial y final	TC	4%	5%	10%
Transporte y posición de arranque	TC	1%	0%	0%
Elaborar reportes de campo	TC	0%	0%	0%
Compactación del terreno de fundación	TP	0%	2%	0%
Colocación de material in situ	TP	2%	0%	5%
Conformación de la base (roca-over)	TP	0%	0%	27%
Compactación de la base	TP	0%	0%	10%
Conformación y batido del cuerpo del mejoramiento	TP	9%	0%	0%
Nivelado del cuerpo (corte y relleno compensado)	TP	8%	0%	0%
Compactación del cuerpo	TP	0%	9%	0%
Refinado del cuerpo	TP	9%	0%	0%
TOTAL		100%	100%	100%

Fuente: Propia

Luego de efectuar el análisis completo de la medición de tiempos de trabajo de los subprocesos se ejecutó detalladamente las actividades de cada capa con los equipos que se requieren como se ve refleja a continuación:

Conformación y compactación de la base:

Se tomaron los tiempos de trabajo de los equipos empleados en esta capa:

Tabla 14: Equipos utilizados en la base.

Primera Capa: Base		
Equipos	Cuadrilla N° 1	Tractor de Oruga Caterpillar D6T
	Cuadrilla N° 2	Tractor de Oruga Caterpillar D6T
	Cuadrilla N° 3	Tractor de Oruga Caterpillar D6T

Fuente: Propia

Se apreció que estos equipos aparte de conformar el material cumplen la función de estabilizar esta capa (por el peso propio), efectuando varias pasadas sobre el material tratando de estabilizarla, es por eso que se obvia en muchas oportunidades emplear los rodillos que dan mayor precisión en la compactación y estabilización.

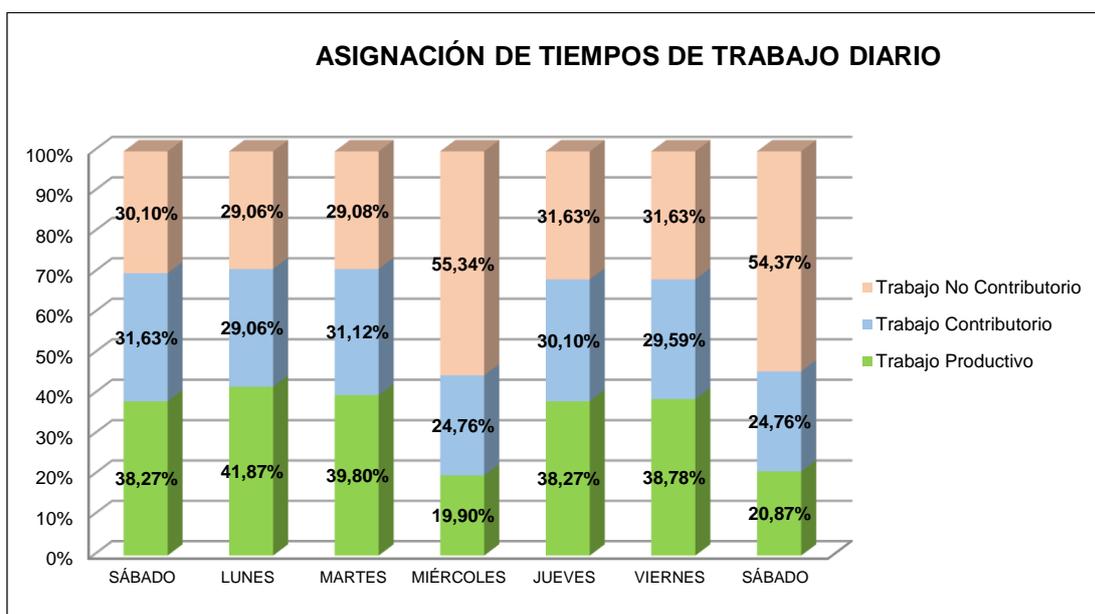
Tabla 15: Promedio de distribución de tiempos.

ACTIVIDADES	SÁBADO	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO
	29/08/2015	31/08/2015	01/09/2015	02/09/2015	03/09/2015	04/09/2015	05/09/2015
Trabajo Productivo	38.27%	41.87%	39.80%	19.90%	38.27%	38.78%	20.87%
Trabajo Contributorio	31.63%	29.06%	31.12%	24.76%	30.10%	29.59%	24.76%
Trabajo No Contributorio	30.10%	29.06%	29.08%	55.34%	31.63%	31.63%	54.37%

Avance (ml) base y cuerpo	190	190	190	220	200	170	210
Cuadrillas (cant.)	3	3	3	3	3	3	3

Fuente: Propia

Figura 23: Diagrama de los tiempos de trabajo.



Fuente: Propia

Como apreciamos en la figura 23, los tiempos que añaden valor a la actividad es el 33.96%, siendo menor al trabajo no contributorio que es casi el 37.32% del tiempo total, si bien los TNC son mayores es notorio observar la variabilidad que tienen los tipos de trabajo a diario, y es por eso que es importante encontrar y corregir estos procesos improductivos que ponen en riesgo las metas trazadas.

Para tener una mejor visualización del estudio realizado se efectuó un Cursograma Analítico como se ve a continuación.

Tabla 16: Cursograma Analítico de la ejecución de la Base.

Equipo Empleado	: Tractor de Oruga Caterpillar D6T		
Tramo	: Km 50+900 - 50+980		
Capa	: Base	Turno	: Día

N°	DESCRIPCIÓN	Distancia (m)	Tiempo (min)	Actividad				
				○	□	◐	⇒	▽
1	Charla de seguridad y llenado de AST		15			x		
2	Encendido y calentamiento de motor		10			x		
3	Transporte al tramo de ejecución	80	6				x	
4	Espera por personal de topografía		21			x		
5	Plantillado topográfico		11		x			
6	Espera por falla mecánica		13			x		
7	Control de calidad inicial		10		x			
8	Espera por material		23			x		
9	Descarga de material en plataforma		10	x				
10	Conformación de la base (roca-over)		45	x				
11	Estabilización de la base		20	x				
12	Control de calidad final		10			x		
TOTAL		80	194	3	3	5	1	0

Fuente: Propia

Si bien los resultados variaran dependiendo a los tramos a ejecutar (longitud y espesor) los pasos a seguir serán los mismos en esta capa.

Tabla 17: Resumen del Cursograma Analítico de la Base.

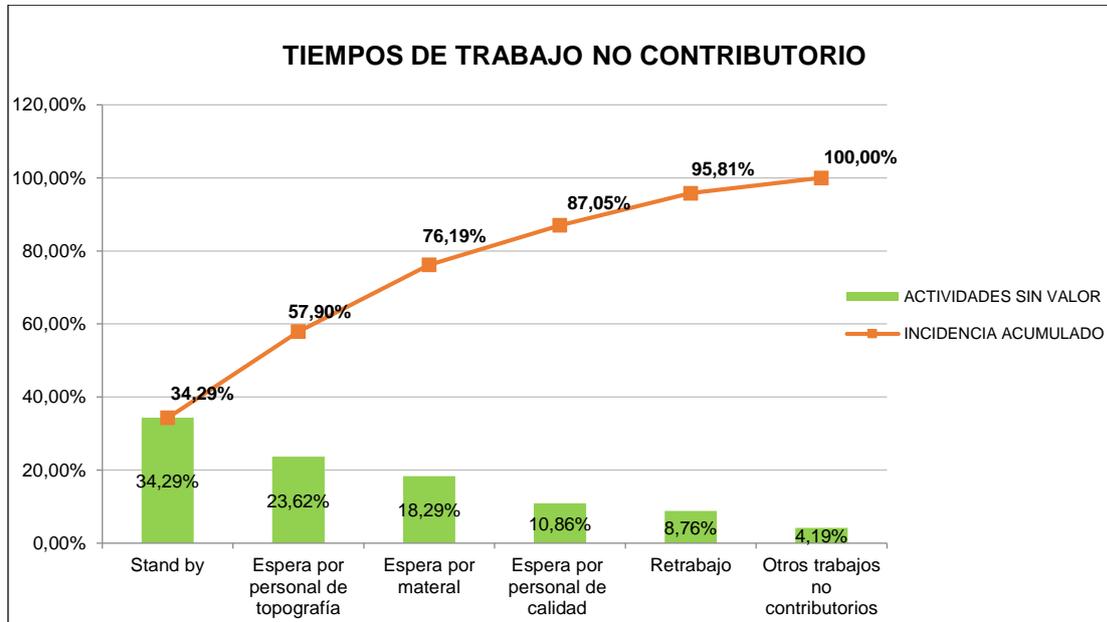
Actividad	Total
Operación ○	3
Inspección □	3
Espera ◐	5
Transporte ⇒	1
Almacenamiento ▽	0

Distancia (m)	80
Tiempo (min)	194

Fuente: Propia

A continuación, mostramos los procesos que acumulan la incidencia del trabajo no contributivo en la figura 24:

Figura 24: Diagrama del trabajo no contributivo.



Fuente: Propia

Los tiempos improductivos con mayor incidencia se dan por stand by (en espera), la espera por personal de topografía, material, calidad, y retrabajos en mayor incidencia, en “otros trabajos” se encuentran aquellas paras que por sí solas no son de gran magnitud como la supervisión de los ATS por los ingenieros de seguridad o la falta de herramientas, inasistencias, etc.

Conformado, Nivelado y Refinado del Cuerpo:

Es oportuno aclarar que para este proceso de tomaron estas consideraciones:

- La conformación de la capa se efectuó para extender y batir el material en la plataforma deseada.
- El nivelado de esta capa se dio una vez marcadas las cotas por el personal de topografía para compensar las áreas de corte y relleno.

- El refine del cuerpo se dio con el objetivo de darle el acabado que se requiere y contrarrestar agentes externos que la puedan dañar antes de colocar la última capa como es la lluvia, o el tránsito vehicular.

De la misma manera se efectuó el estudio de tiempos para esta capa, teniendo en cuenta los equipos utilizados como se muestra a continuación en las siguientes tablas:

Tabla 18: Equipos utilizados en el nivelado y refinado del cuerpo

Segunda Capa: Cuerpo		
Equipos	Cuadrilla N° 1	➤ 1 Motoniveladora Caterpillar 140K
	Cuadrilla N° 2	➤ 1 Motoniveladora Caterpillar 140K
	Cuadrilla N° 3	➤ 1 Motoniveladora Caterpillar 140K

Fuente: Propia.

Una vez identificados los equipos a utilizar analizaremos los tiempos de trabajo en las jornadas establecidas como se muestra a continuación:

Tabla 19: Promedio de distribución de tiempos

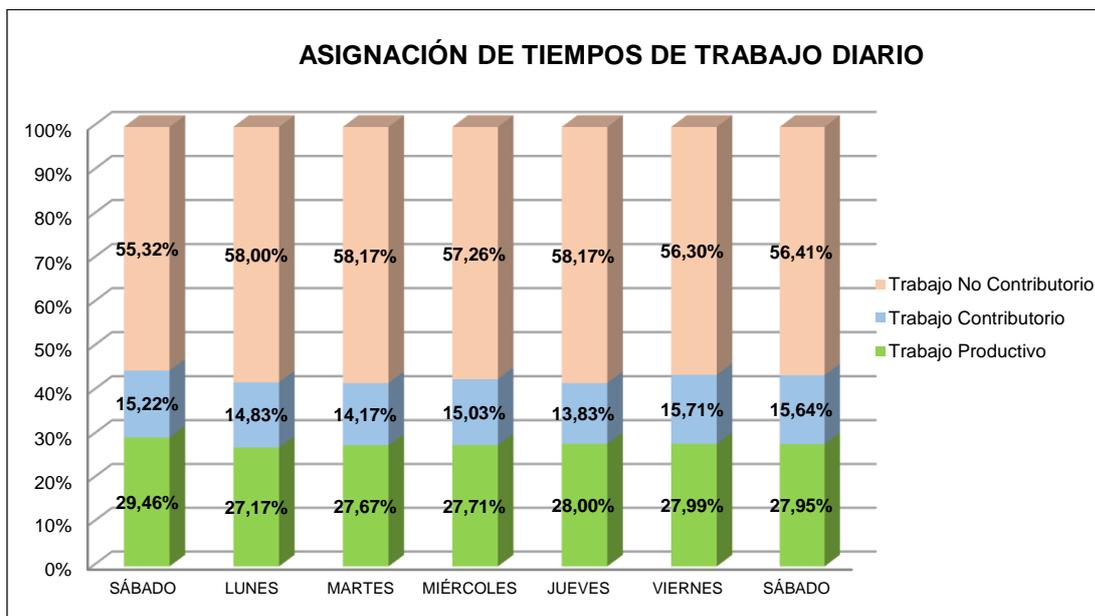
ACTIVIDADES	SÁBADO	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO
	29/08/2015	31/08/2015	01/09/2015	02/09/2015	03/09/2015	04/09/2015	05/09/2015
Trabajo Productivo	29.46%	27.17%	27.67%	27.71%	28.00%	27.99%	27.95%
Trabajo Contributorio	15.22%	14.83%	14.17%	15.03%	13.83%	15.71%	15.64%
Trabajo No Contributorio	55.32%	58.00%	58.17%	57.26%	58.17%	56.30%	56.41%

Cuadrillas (cant.)	3	3	3	3	3	3	3
--------------------	---	---	---	---	---	---	---

PROMEDIO GENERAL	
Trabajo Productivo	27.99%
Trabajo Contributorio	14.92%
Trabajo No Contributorio	57.09%

Fuente: Propia.

Figura 25: Diagrama de los tiempos de trabajo.



Fuente: Propia

La figura 25 muestra los tiempos que añaden valor a la actividad bordeando un 27.99% del tiempo total, siendo superado por los trabajos que no agregan valor que es el 57.09% del tiempo total, es notorio observar la variabilidad de tiempos que tienen los tipos de trabajo a diario, ahora buscaremos los trabajos improductivos que ponen en riesgo la actividad.

De igual manera se efectuó un Cursograma Analítico para tener una mejor visualización del estudio realizado.

Tabla 20: Cursograma Analítico de la ejecución del Cuerpo

Equipo Empleado	: 1 Motoniveladora Caterpillar 140K		
Tramo	: Km 50+900 - 50+980		
Capa	: Cuerpo	Turno	: Día

N°	DESCRIPCIÓN	Distancia (m)	Tiempo (min)	Actividad				
				○	□	◐	➡	▽
1	Charla de seguridad y llenado de AST		15			x		
2	Encendido y calentamiento de motor		10			x		
3	Espera por falla mecánica		22			x		
4	Transporte al tramo de ejecución	80	5				x	
5	Espera por material		37			x		
6	Descarga de material en plataforma		11	x				
7	Espera por cisterna de agua		26			x		
8	Posicion de arranque	40	3				x	
9	Escarificado con reeper		8.5	x				
10	Conformación y batido del cuerpo		64	x				
11	Espera por brigada topográfica		24			x		
12	Plantillado topográfico		18			x		
13	Nivelado de cuerpo (corte y relleno compensado)		52	x				
14	Control de calidad		10			x		
15	Refinado del cuerpo		53	x				
16	Control de calidad final		9			x		
TOTAL		120	367.5	5	3	6	2	0

Fuente: Propia

De igual manera presentamos el resumen del cuadro analizado (ver tabla 21).

Tabla 21: Resumen del Cursograma Analítico del Cuerpo.

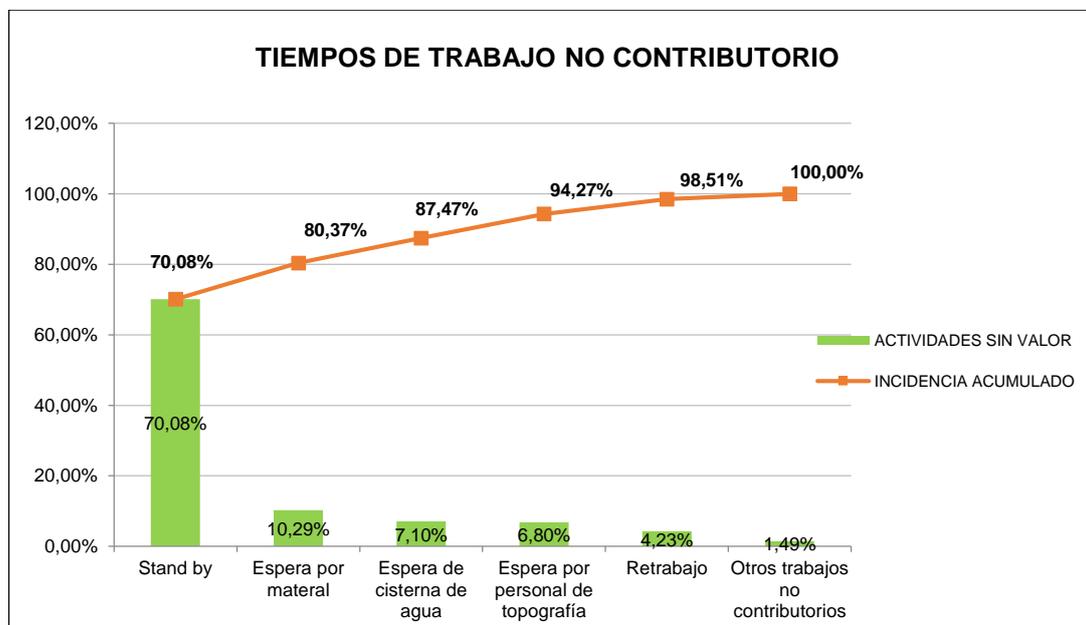
Actividad	Total
Operación ○	5
Inspección □	3
Espera ◐	6
Transporte ➡	2
Almacenamiento ▽	0

Distancia (m)	120
Tiempo (min)	367.5

Fuente: Propia

A continuación, mostramos los procesos que acumulan la incidencia del trabajo no contributivo en la figura 26:

Figura 26: Diagrama del trabajo no contributivo



Fuente: Propia

En esta capa los tiempos improductivos con mayor incidencia se dan por stand by (en espera), la espera por el material y la espera de la cisterna de agua que agrupados son casi el 85% del tiempo improductivo, también cabe resaltar los retrabajos que se fueron presentando en los tramos donde ya se habían realizado los mejoramientos de las capas mencionadas.

Compactación final del cuerpo:

En la culminación de la capa se estudiaron los tiempos que efectúan los rodillos, es de suma importancia conocer la cantidad de ciclos o pasadas que se realizan para alcanzar la compactación necesaria según las EE.TT., para el caso del cuerpo se concluyó que se requería 8 ciclos (cada ciclo está compuesto de dos pasadas ida y vuelta), otro aspecto a considerar es saber que los rodillos no tienen la misma efectividad y en

oportunidades se observó que se efectuaban uno o dos ciclos más, las tablas mostradas seguidamente esclarecen las incertidumbres que se van presentando.

Tabla 22: Equipos utilizados en la compactación del cuerpo.

Segunda Capa: Cuerpo		
Equipos	Cuadrilla N° 1	➤ 1 Rodillo Vibratorio Dynapac CA260D
	Cuadrilla N° 2	➤ 1 Rodillo Vibratorio HAMM 3411
	Cuadrilla N° 3	➤ 1 Rodillo Vibratorio HAMM 3411

Fuente: Propia

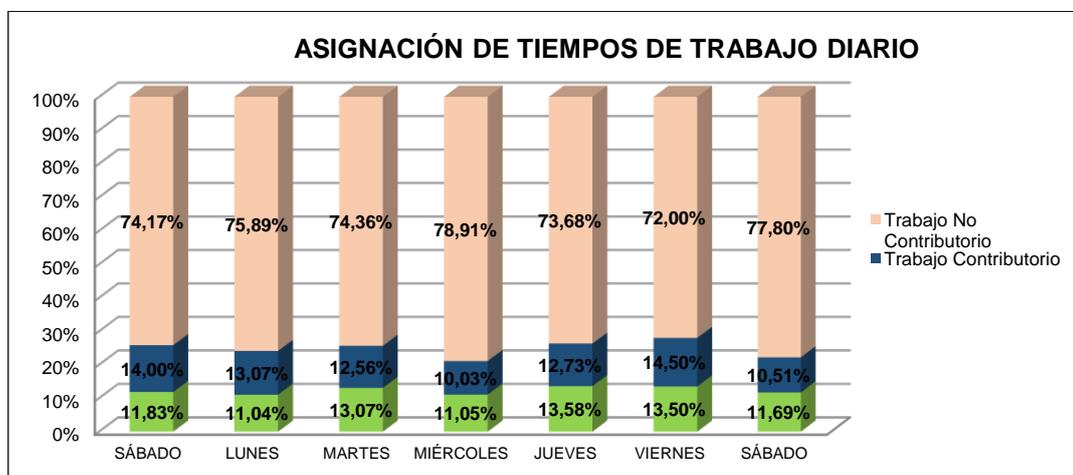
Tabla 23: Promedio de distribución de tiempos.

ACTIVIDADES	SÁBADO	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO
	29/08/2015	31/08/2015	01/09/2015	02/09/2015	03/09/2015	04/09/2015	05/09/2015
Trabajo Productivo	11.83%	11.04%	13.07%	11.05%	13.58%	13.50%	11.69%
Trabajo Contributorio	14.00%	13.07%	12.56%	10.03%	12.73%	14.50%	10.51%
Trabajo No Contributorio	74.17%	75.89%	74.36%	78.91%	73.68%	72.00%	77.80%

Cuadrillas (cant.)	3	3	3	3	3	3	3
--------------------	---	---	---	---	---	---	---

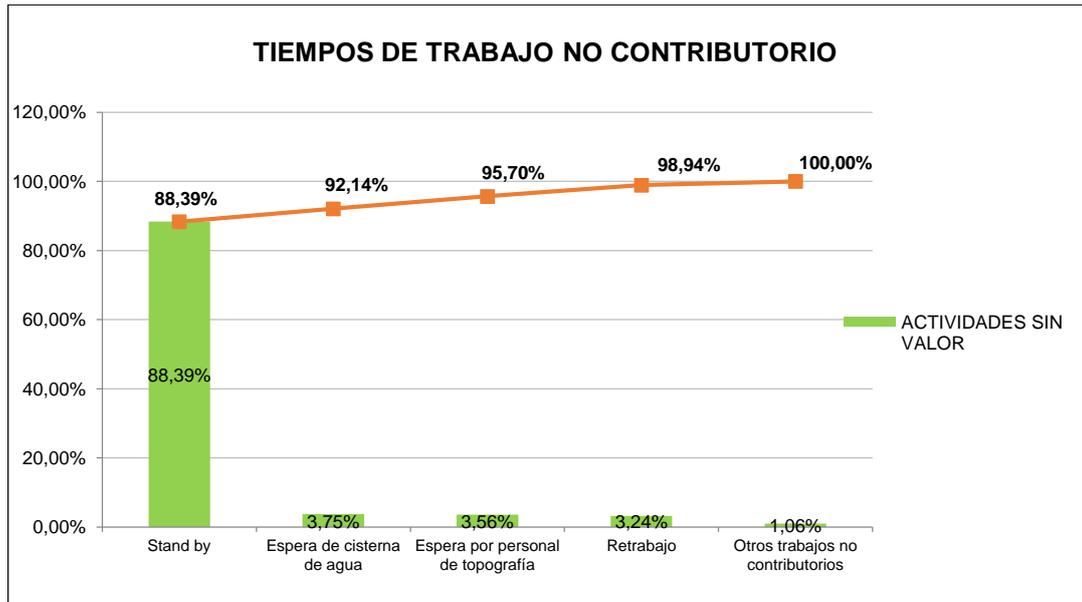
Fuente: Propia

Figura 27: Diagrama de los tiempos de trabajo



La figura 27 muestra los tiempos que no agregan valor con un promedio del 75.26% del tiempo total, mientras que añaden valor a la actividad bordean el 12.25% del tiempo total, de igual manera es notorio que no se puede manejar los tiempos contantes.

Figura 28: Diagrama del trabajo no contributorio



Fuente: Propia.

Se puede apreciar que casi el 89% del tiempo que no agregan valor es por stand by (en espera), de igual manera la espera por cisterna de agua y por el personal de topografía, cabe señalar que los retrabajos en otro frente se dan por no alcanzar con la compactación necesaria o por las deflexiones que se van presentando en los tramos ya culminados.

Conformado, Nivelado y Refinado de la Corona:

Una vez aprobado las dos capas inferiores se procede a realizar la última capa que es la corona (2 capas de 15 cm de altura), Esta capa tiene una particularidad y es que se ejecuta similarmente a la subbase o base, para el cálculo de los tiempos de trabajo se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones:

Tabla 24: Datos del análisis de la corona del terraplén M.S.N.S.

MEJORAMIENTO DE SUELO A NIVEL SUBRASANTE	
Capas	Corona
Ing. Producción	Ing. Carlos Orosco
Capataz de actividad	Sr. Rubén Jara
Fechas de estudio	05 al 12 de setiembre del 2015 (7 días)
Distancia estudiada	1200 ml
Tiempo de jornada	07:00 a.m. al 06:00 pm (incluye refrigerio)

Fuente: Propia.

Esta capa del mejoramiento (altura de 0.30m) se ejecuta en la plataforma completa, si bien las dos capas ejecutadas tienen el mismo proceso constructivo la segunda capa (altura de 0.15m) se ejecutará siempre y cuando la primera capa (altura de 0.15m) cumpla y se apruebe con las EE.TT planteadas, si el tramo existente es apropiado de todas maneras se efectúa esta parte del mejoramiento para estabilizar el terreno natural y mejorar el proceso de las capas superiores. A continuación mostramos la clasificación de los subprocesos en la siguiente tabla.

Tabla 25: Clasificación de procesos de la corona .

Trabajo Productivo	
Equivalencia	Tipo de trabajo
Z	Conformación y batido de la corona (mat. zarandeado)
A1	Nivelado de la corona (corte y relleno compensado)
A2	Compactación de la corona
A3	Refinado de la corona (mat. zarandeado)
A4	Escarificado de capa con repper

Trabajo Contributorio	
Equivalencia	Tipo de trabajo
K	Charla de seguridad y llenado de AST
L	Recarga y ajuste de equipos a usar
M	Encendido de motor
N	Indicaciones
Ñ	Mediciones topográficas
O	Control de calidad inicial y final
P	Transporte y posición de arranque
Q	Elaborar reportes de campo

Trabajo No Contributorio	
Equivalencia	Tipo de trabajo
A	Espera por material
B	Parada por falla mecánica
C	Stand by (en espera)
D	Espera de cisterna de agua
E	Espera por personal de calidad
F	Espera por personal de topografía
G	Espera por personal de supervisión
H	Retrabajo
I	Otros trabajos no contributorios
J	Descanso

Fuente: Propia.

Después de efectuar la clasificación de trabajos se efectuaron mediciones en campo con la herramienta carta balance por cada día. A continuación se ve el muestreo de una jornada aleatoria de la semana seleccionada:

Tabla 26: Muestreo de subprocesos capa corona, día sábado 05/09/15.

NOMBRE DE PROYECTO:	Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera: Huancavelica – Lircay		
ACTIVIDAD:	Mejoramiento de Suelo a Nivel Subrasante		
CAPA:	Corona 1ra capa	TRAMO:	KM 57+800 - 58+000
RESPONSABLE:	Rubén Jara	DIA:	Sábado 05/09/2015
DATOS DE CAMPO	660 mediciones		

N° DE MEDICIÓN	TIEMPO (MIN)	DESCRIPCION DE TRABAJO			COMENTARIOS
		MOTONIVELADORA	RODILLO COMPACTADOR		
1	07:01	K	K		
2	07:02	K	K		
3	07:03	K	K		
4	07:04	K	K		
5	07:05	K	K		
6	07:06	K	K		
7	07:07	K	K		
8	07:08	K	K		
9	07:09	K	K		
10	07:10	K	K		
11	07:11	K	K		
12	07:12	K	K		
13	07:13	K	K		
14	07:14	K	K		
15	07:15	K	K		
16	07:16	M	M		
17	07:17	M	M		
18	07:18	M	M		
19	07:19	M	M		
20	07:20	M	M		
21	07:21	M	M		
22	07:22	M	M		
23	07:23	M	M		
24	07:24	M	M		
25	07:25	M	M		
26	07:26	P	C		
27	07:27	P	C		
28	07:28	P	C		
29	07:29	P	C		
30	07:30	P	C		
31	07:31	I	C		
32	07:32	I	C		
33	07:33	I	C		
34	07:34	I	C		
35	07:35	I	C		
36	07:36	Z	C		
37	07:37	Z	C		
38	07:38	Z	C		
39	07:39	Z	C		
40	07:40	Z	C		
41	07:41	Z	C		
42	07:42	Z	C		
"	"	"	"		
"	"	"	"		
"	"	"	"		
"	"	"	"		
"	"	"	"		
653	17:53	Q	Q		
654	17:54	Q	Q		
655	17:55	Q	Q		
656	17:56	Q	Q		
657	17:57	Q	Q		
658	17:58	Q	Q		
659	17:59	Q	Q		
660	18:00	Q	Q		

Fuente: Propia

Los datos obtenidos reflejan los subprocesos que se fueron efectuando por cada equipo en un determinado tiempo de trabajo, De igual manera que en las capas base y cuerpo se efectuó la distribución de tiempos y

porcentajes de cada subproceso que fueron interviniendo en la ejecución como se refleja a continuación:

Tabla 27: Distribución de tiempo de los subprocesos capa corona, día sábado 05/09/15.

ACTIVIDADES	TIPO TRAB.	SÁBADO	
		DÍA 05/09/2015	
		TIEMPO DE TRABAJO POR ACTIVIDAD (MIN)	
		MOTONIV.	ROD. COMPAC.
Espera por material	TNC	0	0
Parada por falla mecánica	TNC	0	0
Stand by (en espera)	TNC	110	242
Espera de cisterna de agua	TNC	40	27
Espera por personal de calidad	TNC	0	0
Espera por personal de topografía	TNC	37	27
Espera por personal de supervisión	TNC	0	0
Retrabajo	TNC	0	0
Otros trabajos no contributivos	TNC	10	0
Descanso	TNC	0	0
Charla de seguridad y llenado de AST	TC	15	15
Recarga y ajuste de equipos a usar	TC	0	0
Encendido de motor	TC	10	21
Indicaciones	TC	5	8
Mediciones topográficas	TC	39	0
Control de calidad inicial y final	TC	10	0
Transporte y posición de arranque	TC	8	0
Elaborar reportes de campo	TC	0	0
Conformación y batido de la corona (mat. zarandeado)	TP	43	0
Nivelado de la corona (corte y relleno compensado)	TP	50	0
Compactación de la corona	TP	0	48
Refinado de la corona (mat. zarandeado)	TP	0	0
Escarificado de capa con repper	TP	0	0
TOTAL		377	388

Fuente: Propia

Al calcular la distribución de los tiempos por jornada se podrá realizar la distribución de porcentaje de cada subproceso y tener una idea más clara de los trabajos no contributivos que se ven en la ejecución de la actividad.

Tabla 28: Distribución de porcentaje de los subprocesos capa corona, día sábado 05/09/15.

ACTIVIDADES	TIPO TRAB.	SÁBADO	
		DÍA 05/09/2015	
		PORCENTAJE DE TRABAJO (%)	
		MOTONIV.	ROD. COMPAC.
Espera por material	TNC	0%	0%
Parada por falla mecánica	TNC	0%	0%
Stand by	TNC	29%	62%
Espera de cisterna de agua	TNC	11%	7%
Espera por personal de calidad	TNC	0%	0%
Espera por personal de topografía	TNC	10%	7%
Espera por personal de supervisión	TNC	0%	0%
Retrabajo	TNC	0%	0%
Otros trabajos no contributorios	TNC	3%	0%
Descanso	TNC	0%	0%
Charla de seguridad y llenado de AST	TC	4%	4%
Recarga y ajuste de equipos a usar	TC	0%	0%
Encendido de motor	TC	3%	5%
Indicaciones	TC	1%	2%
Mediciones topográficas	TC	10%	0%
Control de calidad inicial y final	TC	3%	0%
Transporte y posición de arranque	TC	2%	0%
Elaborar reportes de campo	TC	0%	0%
Conformación y batido de la corona (mat. zarandeado)	TP	11%	0%
Nivelado de la corona (corte y relleno compensado)	TP	13%	0%
Compactación de la corona	TP	0%	12%
Refinado de la corona (mat. zarandeado)	TP	0%	0%
Escarificado de capa con repper	TP	0%	0%
TOTAL		100%	100%

Fuente: Propia

Luego de efectuar el análisis completo de la medición de tiempos de trabajo de los subprocesos se ejecutó detalladamente las actividades de cada capa con los equipos que se requieren como se ve refleja a continuación:

Conformado, Nivelado y Refinado de la Corona:

Para estos procesos se tomaron estas consideraciones:

- La colocación del material se efectuó por las noches en coordinación con los ingenieros y jefes de grupo de cada turno.
- La conformación de la capa se efectuó para extender y batir el material en la plataforma completa.
- El nivelado de esta capa se dio una vez marcadas las cotas por el personal de topografía (plantillado) para compensar las áreas de corte y relleno.

- El refine del cuerpo se dio con el objetivo de darle el acabado que se requiere y contrarrestar agentes externos que la puedan dañar antes de colocar la segunda o última capa como son agentes externos como la lluvia, o el tránsito vehicular (segregación).
- El escarificado se ejecuta para asegurar una mejor adherencia de la capa, eliminando el confinamiento del material.

De la misma manera se realizó el estudio de tiempos para esta capa, teniendo en cuenta los equipos utilizados como se muestra a continuación en las siguientes tablas:

Tabla 29: Equipos utilizados en el nivelado-refinado de la corona

Tercera Capa: Corona		
Equipos	Cuadrilla N° 1	➤ 1 Motoniveladora Caterpillar 140K
	Cuadrilla N° 2	➤ 1 Motoniveladora Caterpillar 140K

Fuente: Propia

Después de identificar los equipos a utilizar analizaremos los tiempos de trabajo en las jornadas establecidas como se muestra a continuación:

Tabla 30: Promedio de distribución de tiempos.

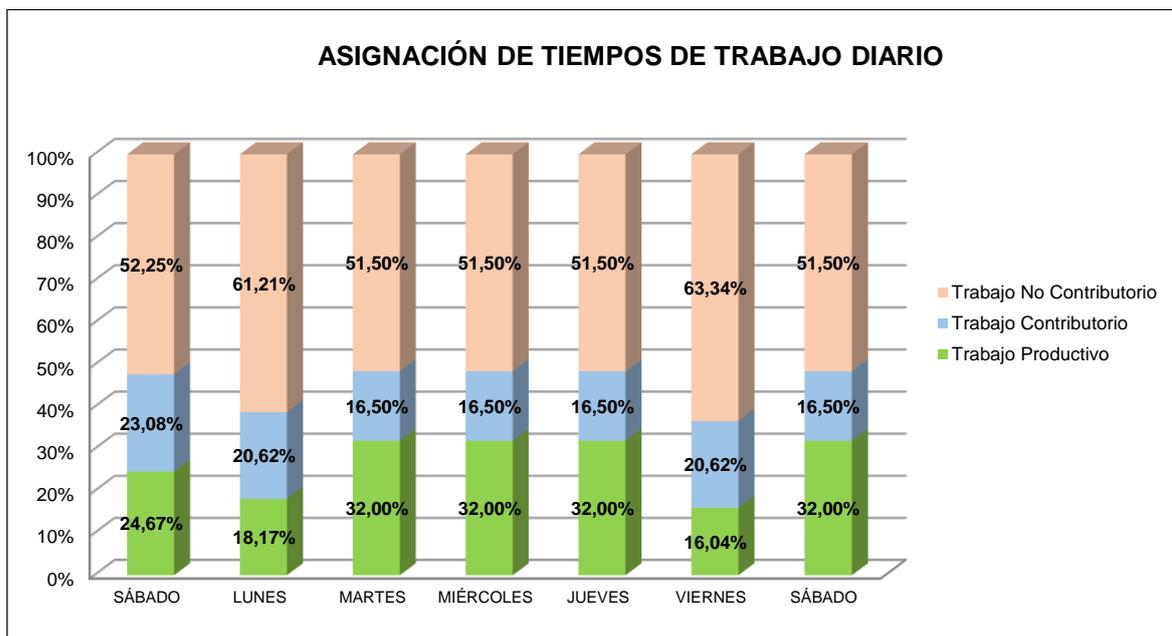
ACTIVIDADES	SÁBADO	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO
	05/09/2015	07/09/2015	08/09/2015	09/09/2015	10/09/2015	11/09/2015	12/09/2015
Trabajo Productivo	24.67%	18.17%	32.00%	32.00%	32.00%	16.04%	32.00%
Trabajo Contributorio	23.08%	20.62%	16.50%	16.50%	16.50%	20.62%	16.50%
Trabajo No Contributorio	52.25%	61.21%	51.50%	51.50%	51.50%	63.34%	51.50%

Avance (ml) base y cuerpo	420	380	390	420	440	420	400
Cuadrillas (cant.)	2	2	2	2	2	2	2

PROMEDIO GENERAL	
Trabajo Productivo	26.70%
Trabajo Contributorio	18.62%
Trabajo No Contributorio	54.69%

Fuente: Propia

Figura 29: Diagrama de los tiempos de trabajo.



Fuente: Propia

La figura 29 muestra la variabilidad de tiempos que tienen los tipos de trabajo a diario, los tiempos no contributivos tienen en promedio el 54.69% más de la mitad del tiempo total.

Para tener una mejor visualización del estudio realizado se efectuó un Cursograma Analítico (ver tabla 31).

Tabla 31: Cursograma Analítico de la ejecución de Corona.

Equipo Empleado	1 Motoniveladora Caterpillar 140K	
Tramo	: Km 57+800 - 58+000	
Capa	: Corona	Turno : Día

N°	DESCRIPCIÓN	Distancia (m)	Tiempo (min)	Actividad				
				○	□	◐	⇒	▽
1	Charla de seguridad y llenado de AST		15			x		
2	Encendido y calentamiento de motor		10			x		
3	Espera por falla mecánica		20			x		
4	Transporte al tramo de ejecución	80	5				x	
5	Espera por cisterna de agua		20			x		
6	Indicaciones al operador		3			x		
7	Escarificado de capa con reeper		8	x				
8	Conformación y batido de la corona		23	x				
9	Espera por personal de topografía		24			x		
10	Plantillado topográfico		33		x			
11	Posición de arranque	30	3				x	
12	Indicaciones al operador		5			x		
13	Nivelado de corona (corte y relleno compensado)		38	x				
14	Control de calidad		10		x			
15	Refinado de corona		39	x				
16	Control de calidad final		29			x		
TOTAL		110	285	4	3	7	2	0

Fuente: Propia

De igual manera presentamos el resumen del cuadro analizado (ver tabla 32).

Tabla 32: Resumen del Cursograma Analítico de Corona.

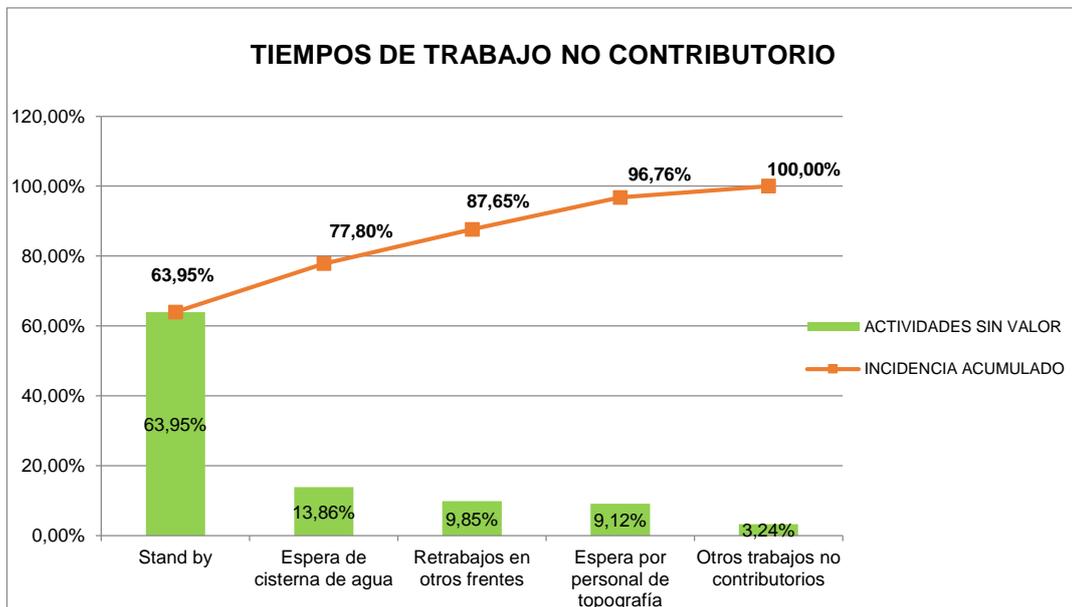
Actividad	Total
Operación ○	4
Inspección □	3
Espera ◐	7
Transporte ⇒	2
Almacenamiento ▽	0

Distancia (m)	110
Tiempo (min)	285

Fuente: Propia

Inicialmente el escarificado con el repper se consideró como trabajo productivo debido a que como proceso constructivo es indispensable, pero luego se descubrió que al realizar este proceso se estaría omitiendo el trabajo inicial efectuado por los equipos (motoniveladora - rodillo) y que se emplearían más horas máquina y horas hombre, debido a lo mencionado se concluye que este proceso es un retrabajo y que en el acumulado es una de las principales causas que generan improductividad como se muestra en la figura 30:

Figura 30: Diagrama del trabajo no contributivo.



Fuente: Propia

En los procesos improductivos la para por stand by (en espera) predomina como la más incidente, de igual manera la espera por la cisterna de agua al inicio de cada proceso causó muchos problemas en el proceso constructivo, por otro lado es preocupante ver que los retrabajos sean considerados frecuentemente a causa del desgaste de las capas, otro punto por resaltar es la espera por el personal de topografía debido a que recorren tramos largos para efectuar los plantillados necesarios.

Compactación final de la corona:

De igual manera se estudiaron los tiempos que efectúan los rodillos como se muestra a continuación:

Tabla 33: Equipos utilizados en la compactación de la corona.

Tercera Capa: Corona		
Equipos	Cuadrilla N° 1	➤ 2 Rodillo Vibratorio Dynapac CA260D
	Cuadrilla N° 2	➤ 2 Rodillo Vibratorio Dynapac CA260D

Fuente: Propia

Tabla 34: Promedio de distribución de tiempos.

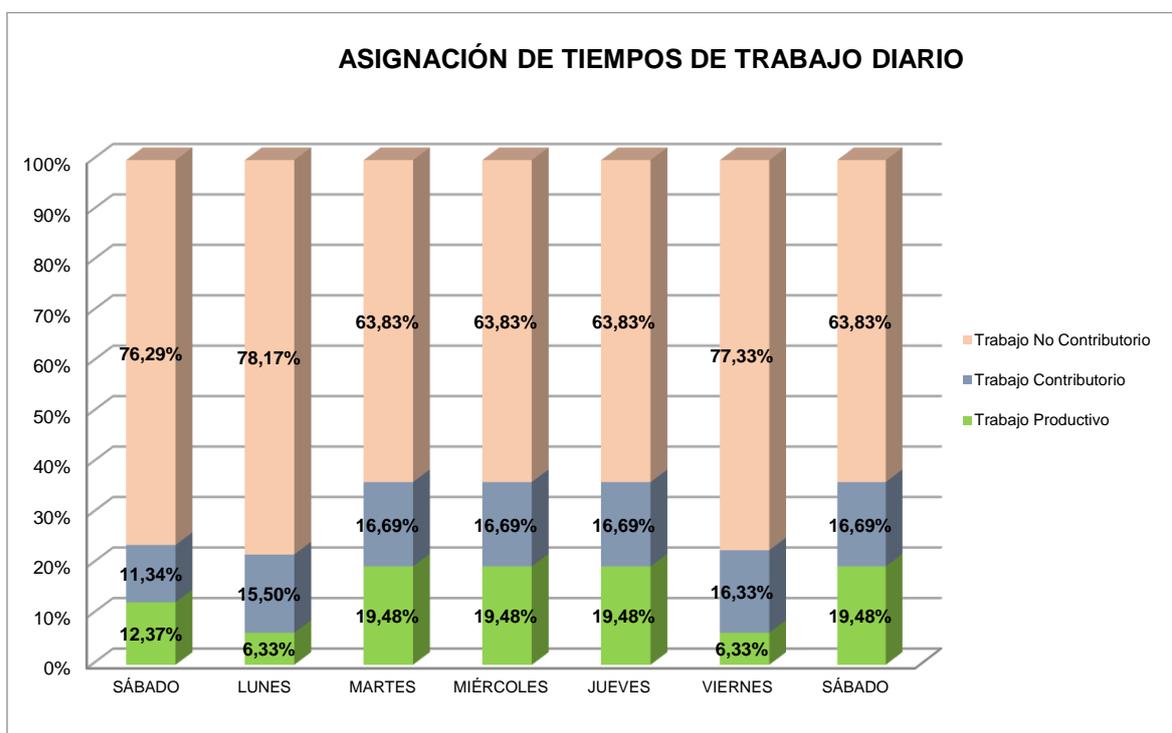
ACTIVIDADES	SÁBADO	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO
	05/09/2015	07/09/2015	08/09/2015	09/09/2015	10/09/2015	11/09/2015	12/09/2015
Trabajo Productivo	12.37%	6.33%	19.48%	19.48%	19.48%	6.33%	19.48%
Trabajo Contributorio	11.34%	15.50%	16.69%	16.69%	16.69%	16.33%	16.69%
Trabajo No Contributorio	76.29%	78.17%	63.83%	63.83%	63.83%	77.33%	63.83%

Cuadrillas (cant.)	2	2	2	2	2	2	2
--------------------	---	---	---	---	---	---	---

PROMEDIO GENERAL	
Trabajo Productivo	14.71%
Trabajo Contributorio	15.71%
Trabajo No Contributorio	69.59%

Fuente: Propia

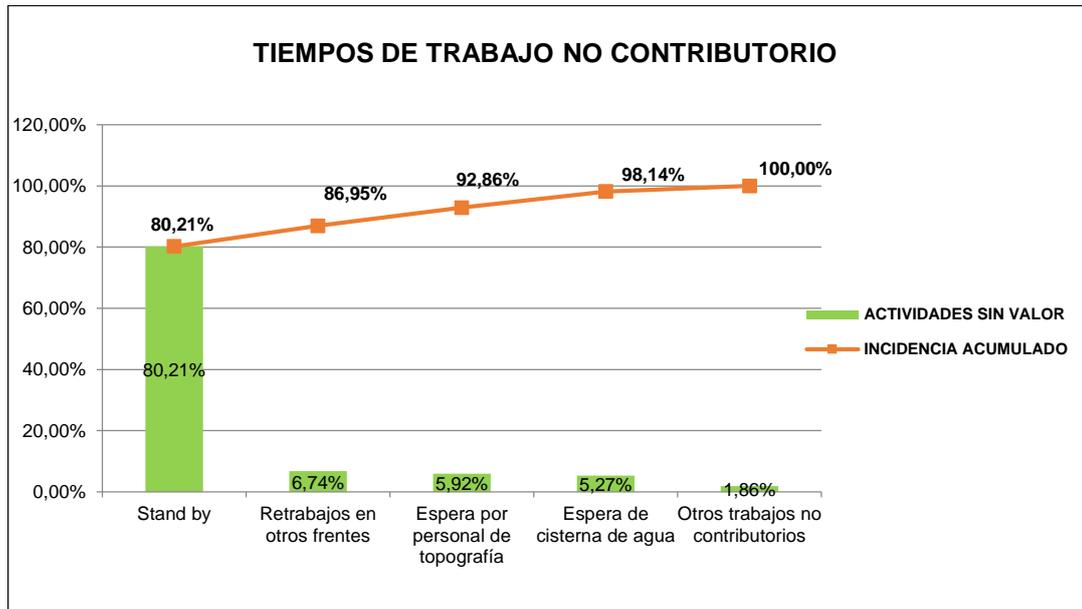
Figura 31: Diagrama de los tiempos de trabajo.



Fuente: Propia

La figura 31 muestra los tiempos que no agregan valor con un promedio del 69.59% del tiempo total, de igual manera que en la capa del cuerpo es importante conocer la cantidad de ciclos o pasadas que se realizan para alcanzar la compactación necesaria según las EE.TT., para el caso de cada capa de la corona se requería 8 a 9 ciclos en general, cada ciclo está compuesto de dos pasadas ida y vuelta, otro aspecto a considerar es que los rodillos no tienen la misma efectividad y se observó que se efectuaban uno o dos ciclos más, se muestra seguidamente las actividades que no agregan valor.

Figura 32: Diagrama del trabajo no contributivo.



Fuente: Propia

El diagrama muestra que el equipo en stand by (en espera) y los retrabajos son las actividades que no agregan valor en mayor magnitud, de igual forma la espera por el personal de topografía y la espera por la cisterna de agua.

3.4.3.4. Demora en abastecimiento de material (DAM)

Analizamos el tiempo promedio en que los volquetes tardan en abastecer de material a las diferentes capas en los frentes de trabajo, estos valores salen de los trabajos que no agregan valor como se muestra a continuación:

Tabla 35: Demoras de abastecimiento de material.

CAPAS	Tiempo promedio diario (min)
Base	13.7
Cuerpo	35.4
Corona*	0

Fuente: Propia

El abastecimiento para la capa de la corona se efectúa por las noches por la que no se registraron desabastecimiento de material.

3.4.3.5. Disponibilidad de equipos total (DE)

Efectuamos un análisis de la disponibilidad mecánica de los equipos por cada capa y las horas en promedio que paraban en mantenimiento en el taller como se muestra a continuación:

Tabla 36: Disponibilidad de equipos en terraplén para M.S.N.S.

Código	Equipo	Marca	Propietario	Capa	Hasta la fecha	Horas Taller	% de disp.
Tractores							
TA070/001	Tractor de oruga D6T	Caterpillar	Upaca	Base	26/09	1.50	97.86%
TA070/006	Tractor de oruga D6T	Caterpillar	JJC	Base	26/09	-	100.00%
TA070/009	Tractor de oruga D6T	Caterpillar	JJC	Base	26/09	1.40	98.00%
Motoniveladoras							
TA050/005	Motoniveladora 140H	Caterpillar	JJC	Cuerpo	26/09	1.80	97.43%
TA050/007	Motoniveladora 140K	Caterpillar	JJC	Cuerpo	26/09	-	100.00%
TA050/010	Motoniveladora 140K	Caterpillar	JJC	Cuerpo	26/09	-	100.00%
TA050/011	Motoniveladora 140K	Caterpillar	JJC	Corona	26/09	0.50	99.29%
TA050/012	Motoniveladora 140K	Caterpillar	JJC	Corona	26/09	2.00	97.14%
Rodillos							
TA110/014	Rodillo Vibratorio CA260D	Dynapac	JJC	Cuerpo	26/09	-	100.00%
TA110/018	Rodillo Vibratorio CA260D	Dynapac	JJC	Cuerpo	26/09	-	100.00%
TA110/015	Rodillo Vibratorio CA260D	Dynapac	JJC	Cuerpo	26/09	1.40	98.00%
TA110/019	Rodillo Vibratorio CA260D	Dynapac	JJC	Corona	26/09	-	100.00%
TA110/017	Rodillo Vibratorio CA260D	Dynapac	JJC	Corona	26/09	-	100.00%

TA110/020	Rodillo Vibratorio 3411	Hamm	CGM Rental	Corona	26/09	1.20	98.29%
TA110/021	Rodillo Vibratorio 3411	Hamm	CGM Rental	Corona	26/09	-	100.00%
Cisternas de Agua							
T300/020	Cisterna de Agua	Volkswagen	Mota Engil	Cuerpo	26/09	-	100.00%
T300/085	Cisterna de Agua M2 106	Freightliner	Mota Engil	Cuerpo	26/09	-	100.00%
T300/153	Cisterna de Agua FMX11	Volvo	Mota Engil	Corona	26/09	0.3	99.57%

Fuente: Propia

De los equipos empleados aquellos con más horas paradas fue la motoniveladora Caterpillar 140k con 2 horas de mantenimiento en el taller mecánico ubicado en el km 52+000, pero se debe tener al tope la disponibilidad mecánica para reducir los tiempos improductivos.

3.4.3.6. Avance diario de las capas (AC)

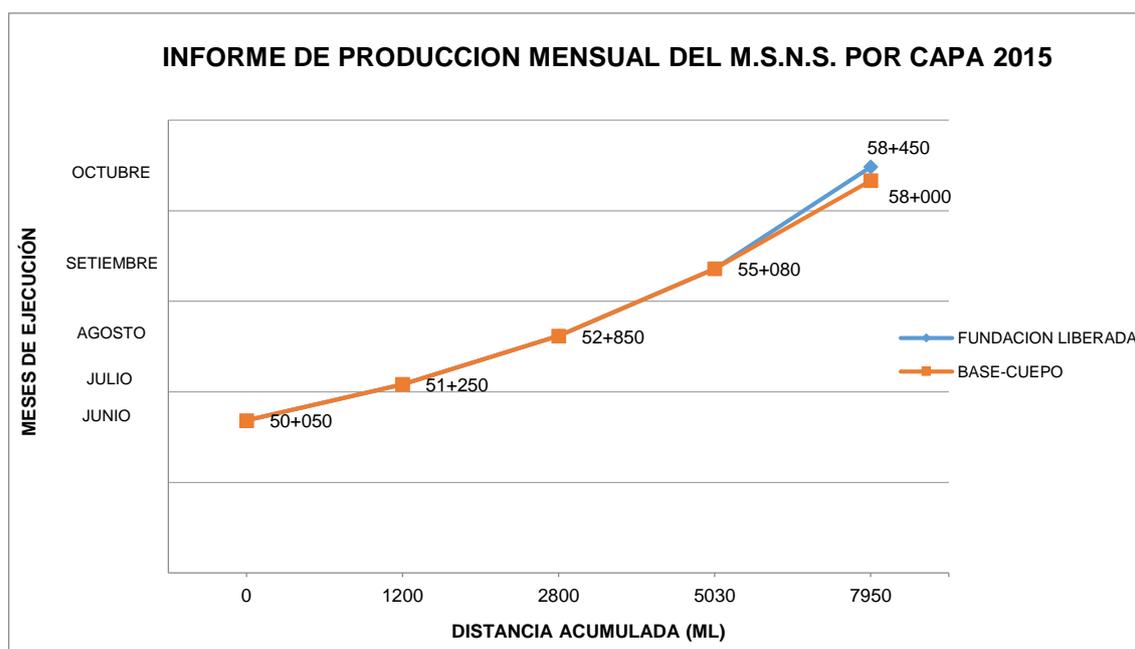
Analizamos el avance productivo que se va dando en la actividad, con este análisis determinaremos las longitudes de las capas (base-cuerpo, corona) sin ser culminadas, para este análisis se tomaron las siguientes consideraciones:

- Las fechas estudiadas fluctúan con las metas elaboradas por OT que inician cada 26 de cada mes y cierran cada 25 del próximo mes, como referencia de estudio se utilizó el avance del mes de setiembre del 2015 (la fuente de información se adjuntó en los anexos).
- Las capas base y cuerpo se ejecutan monolíticamente, ya que el terreno de fundación se encuentra expuesto a cualquier riesgo como las lluvias que podrían alterar la fundación, es por eso que estas dos capas deben ser ejecutadas al 100%, en pocas palabras el terreno desbrozado sin importar la distancia debe ser sellado con estas capas.
- La corona (altura de 30 cm) se ejecuta en dos partes iguales hasta el refinado final (cada capa con una altura de 15 cm), las capas de la corona se analizan independientemente y con la restricción que si la primera capa no cumple con las EE.TT no se procederá a

ejecutar la segunda, a diferencia de las dos primeras capas (base-cuerpo) esta capa ya no presenta riesgo para la fundación del mejoramiento.

A continuación, se muestra los informes de producción de las capas con sus respectivos inventarios:

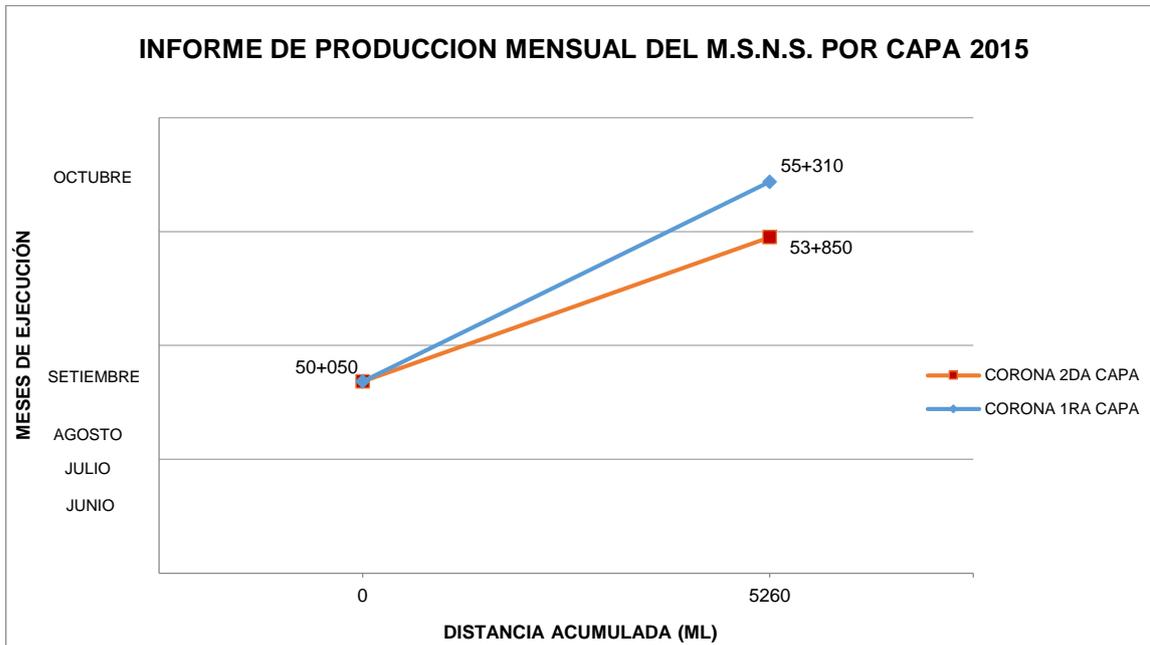
Figura 33: Informe de producción terraplén M.S.N.S., capa base – cuerpo.



Inventario Promedio (ml)	450
---------------------------------	------------

Fuente: Propia

Figura 34: Informe de producción terraplén M.S.N.S., capa corona.

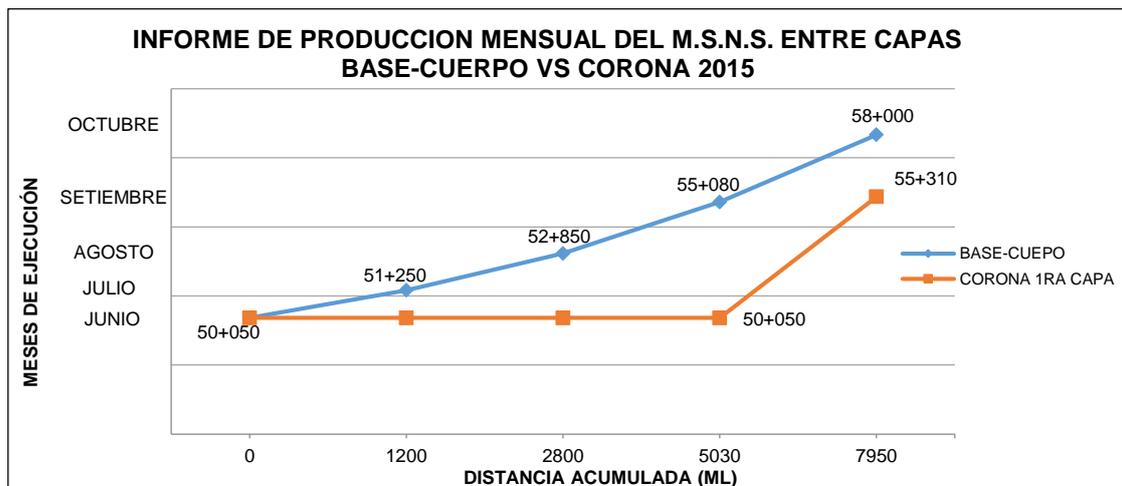


Inventario Promedio (ml)	1460
--------------------------	------

Fuente: Propia

De igual forma se calcula el inventario que existe entre ambas capas de ejecución, esto será de gran ayuda para determinar la distancia en espera que esta apta para ser ejecuta por las capas superiores, esto se verá más detallado en la gráfica del mapa de flujo de valor.

Figura 35: Informe de producción terraplén M.S.N.S., entre capas.



Inventario Promedio (ml)	2690
--------------------------	------

Fuente: Propia

El inventario obtenido de las capas del mejoramiento son los tramos en espera o no ejecutados que serán estudiados más adelante.

3.4.3.7. Tiempo de inventario en las capas (TI):

Una vez analizada el avance de las capas encontraremos los tiempos adicionales que se necesitan para alcanzar los plazos establecidos, deduciendo la siguiente fórmula (referencia: <http://www.gestiondeoperaciones.net/inventarios/que-es-y-como-se-calcula-los-dias-de-inventario/>, visita realizada el 16 de agosto del 2016):

$$TI = \frac{\text{Inventario (ml)}}{\text{Avance Promedio } \left(\frac{\text{ml}}{\text{t}}\right)}$$

Dónde:

MI: Metro Lineal

T: Tiempo (días)

La idea de este análisis es encontrar y optar por lotes de producción reducidos que aporten en la productividad, es conocido que al efectuar lotes elevados se presentan muchas variabilidades y se dan inventarios en espera. La tabla 37 muestra los tiempos de inventarios de las capas, para el caso de la corona se analizó por separado para efectuar el gráfico del mapa de flujo de valor (MFV).

Tabla 37: Tiempo de inventarios del terraplén para M.S.N.S.

Clase de Inventario		Inventario (ml)	Avance Promedio (ml/t)	Tiempo de Inventario (días)
Capas	Base – Cuerpo	450	195.00	2.3
	Corona 1ra capa	1460	351.33	4.2
Entre ambas capas		2690	351.33	7.7

Fuente: Propia

3.4.3.8. Tiempo de ciclo (CT) y tiempo de valor agregado (VAT) por capa

Por medio de las torres de castillo mostrada en la figura 36 determinaremos el tiempo promedio que se necesita para la ejecución de todo el proceso (base-cuerpo-corona), este análisis nos ayudará a observar el ritmo de proceso en conjunto y no en partes como veníamos analizando, de igual manera sabremos la cantidad del tiempo que es agregado a la actividad, para esto se considera la misma cantidad de cuadrillas, el tiempo de operación, y el tiempo de los controles y liberaciones de las capas.

Figura 36: Tiempo en el flujo de producción del terraplén M.S.N.S.

	Zona de fundación estabilizada	Base y Cuerpo	Refinado cuerpo	Entre capas	Refinado corona	Corona	Refinado corona	Total (días)
1°								
2°		2.3		7.7		4.2		14.1
3°	0.5		0.5		0.5		0.5	2

Fuente: Propia

1° Flujo de producción del terraplén para M.S.N.S.

2° Tiempo del flujo que no agrega valor en días.

3° Tiempo del flujo que agrega valor en días.

Como se aprecia los tiempos de inventarios en las capas (TI) son considerados como las que no agregan valor debido a que son tiempos muertos y al no ser planificados están expuestos a diversos riesgos como la segregación, deflexiones, deterioros, etc., mientras que las operaciones que finalizan cada capa serán las que agregan valor, los resultados finales se muestran en la tabla 37.

Tabla 38: Tiempo de ciclo del terraplén para M.S.N.S.

Tiempo de valor agregado (VAT)	Tiempo sin valor agregado (NVAT)	Porcentaje de valor agregado (PVA)	Tiempo de ciclo (CT)
2 días	14.1 días	12.42%	16.1 días

Fuente: Propia

La tabla muestra que el 12.42% del tiempo se agrega valor al entregable en el flujo de producción, la idea es no tener en cuenta los tiempos que no generan valor para notar que tiempo de puede obtener al minimizar los lotes de transferencia, ya que se notó demasiadas falencias y pérdidas en la ejecución de las capas.

3.4.3.9. Variabilidad de la producción diaria en cada capa (VP)

Por medio de este estudio efectuaremos el análisis estadístico de la producción y la variabilidad que se presentan en las operaciones (los datos de avance diario se adjuntan en los anexos), si el valor del coeficiente de variación supera el 50% es porque tiene un alto grado de variación en la producción, la tabla 39 muestra los valores analizados.

Tabla 39: Producción promedio y variabilidad del terraplén para M.S.N.S.

M.S.N.S		Producción promedio	Desviación estándar	Coeficiente de variación
Capas	Base – Cuerpo	195.00	31.92	16.37%
	Corona	374.67	51.91	20.41%

Fuente: Propia

La variabilidad de los procesos no supera el 25%, es por eso que se deduce que los procesos de cada capa tienen un grado medio de variabilidad en la producción diaria teniendo en cuenta que más del 50% de variabilidad representa un grado alto.

3.4.3.10. Porcentaje de plan cumplido de las capas (PPC)

Para el siguiente indicador calculamos el porcentaje de cumplimiento de las metas diarias planificadas por el área de producción, a continuación se muestra los resultados obtenidos.

Tabla 40: Porcentaje de plan cumplido de terraplén M.S.N.S.

Avance Meta			
Capas	Porcentaje de Plan Cumplido (PPC)		
	Días superados	Días no superados	PPC mensual
Base – Cuerpo	14	16	46.67%
Corona	11	19	30.00%

Fuente: Propia

Es notorio que el cumplimiento de las capas procesadas es bajo, ya que no se llega ni al 50% del Porcentaje del Plan Cumplido Mensual.

3.4.3.11. Porcentaje de desperdicio de material (PDM)

Es importante tener en cuenta y monitorear la cantidad de material desperdiciado en cada capa ya que a la larga pueden afectar la productividad de la planta dosificadora de suelos y la explotación de canteras.

Para este análisis se efectuó una comparación de las partes de producción de planta (registros diarios de producción) del mes de setiembre con los metrados reales del presupuesto (el proyecto considera como desperdicio de material el 7% teórico) ya que estas son las que serán reconocidos en la valorización del proyecto. En la tabla 41 se indica los desperdicios de material en promedio obtenidos en cada capa.

Tabla 41: Porcentaje de desperdicio de material en cada capa.

Capa	Desperdicio promedio real (%)	Desperdicio presupuestado (%)	Diferencia (%)
Base	9.45	7.00	2.45
Cuerpo	9.27	7.00	2.27
Corona	10.21	7.00	3.21

Fuente: Propia

La tabla muestra que todas las capas superan el desperdicio presupuestado teniendo mayores excesos, pero se denota que la incidencia de este indicador no es predominante en la productividad ya que el exceso de desperdicio de material en cada capa no superan el 3.5% de diferencia, pero de igual manera se debe monitorear y controlar esta restricción para mitigar el riesgo de excesos de desperdicio de material.

3.4.3.12. Tiempo de no calidad de las capas (NQT)

El análisis de la calidad es importante para determinar los entregables de cada capa y obtener las respectivas liberaciones para ejecutar las capas superiores como la subbase o base, la no conformidad de los trabajos ejecutados implicaría hacer nuevos trabajos en los ya realizados (retrabajos) que no agregarían ningún valor por lo contrario generaría más pérdidas, a continuación se muestra los principales restricciones que se presentan en la ejecución del terraplén para M.S.N.S.

Deflexiones de las capas

Estos son los comúnmente llamados “acolchonamientos” producidos por malas estabilizaciones en la base, el principal riesgo en esta fundación son las filtraciones de agua subterráneas que se ven manifestadas por deflexiones en ambos sentidos o fisuras en las capas superiores como el cuerpo y el problema es mayor porque se tiene que efectuar los retrabajos desde la fundación.

Figura 37: Capa del cuerpo con deflexiones.



Fuente: Propia

Saturación y deterioro de las capas

Este problema se presenta casi a menudo por que no se protegen las capas de los mejoramientos una vez culminadas y están expuestas a las condiciones atmosféricas, lo cual afecta la conformación de cada capa y a consecuencia de esto el material saturado no es trabajable y se efectúan los retrabajos.

Figura 38: Capa de la corona deteriorada por la lluvia.



Fuente: Propia

Segregación en las capas

Este riesgo se presenta por que el material utilizado en la plataforma sufre alteraciones una vez refinado cada capa, porque están expuestas a diversas condiciones como el paso vehicular o las precipitaciones, el problema se manifiesta cuando el agregado grueso y fino no presentan buena homogeneidad y salen a relucir puntos donde has más finos y en otros hay más material grueso, esta restricción trae como consecuencia una resistencia menor a la capa por alterar sus propiedades físicas iniciales.

Figura 39: Capa de la corona con problemas de segregación.

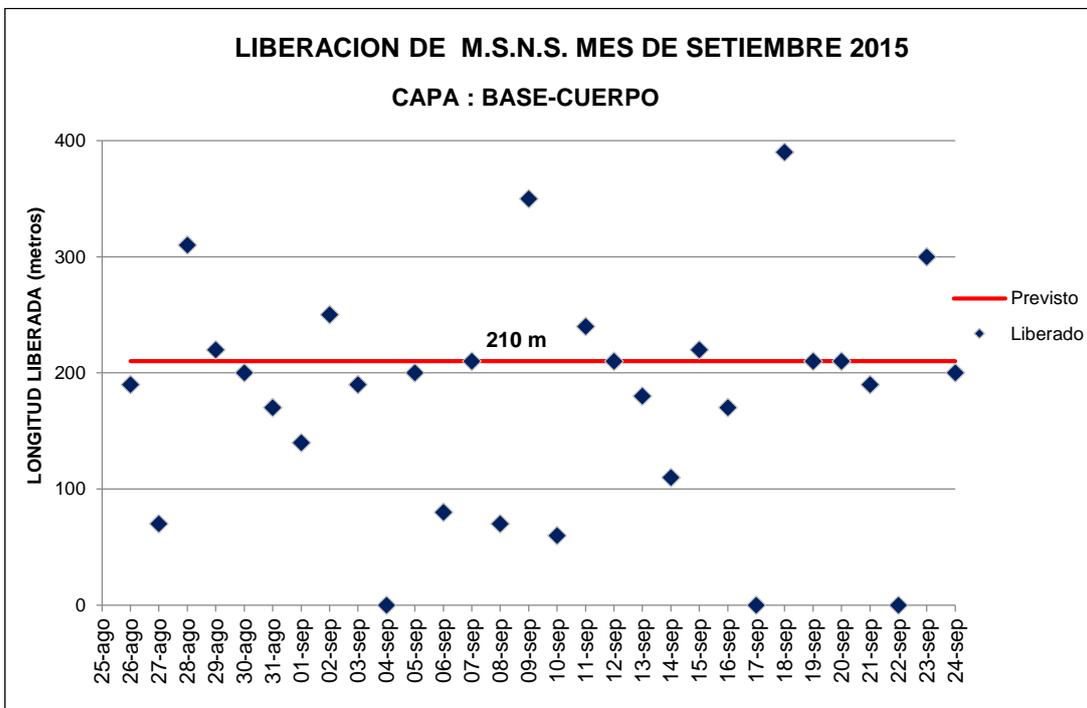


Fuente: Propia

Cabe precisar que para la ejecución de las capas superiores (corona) se tendrá que aprobar las capas inferiores (base-cuerpo), por eso se debe tener tramos liberados caso contrario de presentarse los problemas mencionados anteriormente no se podrá ejecutar las longitudes planificadas y se generarán tiempos muertos por falta de frentes de trabajo, para tener más claro y un mejor control de este indicador se

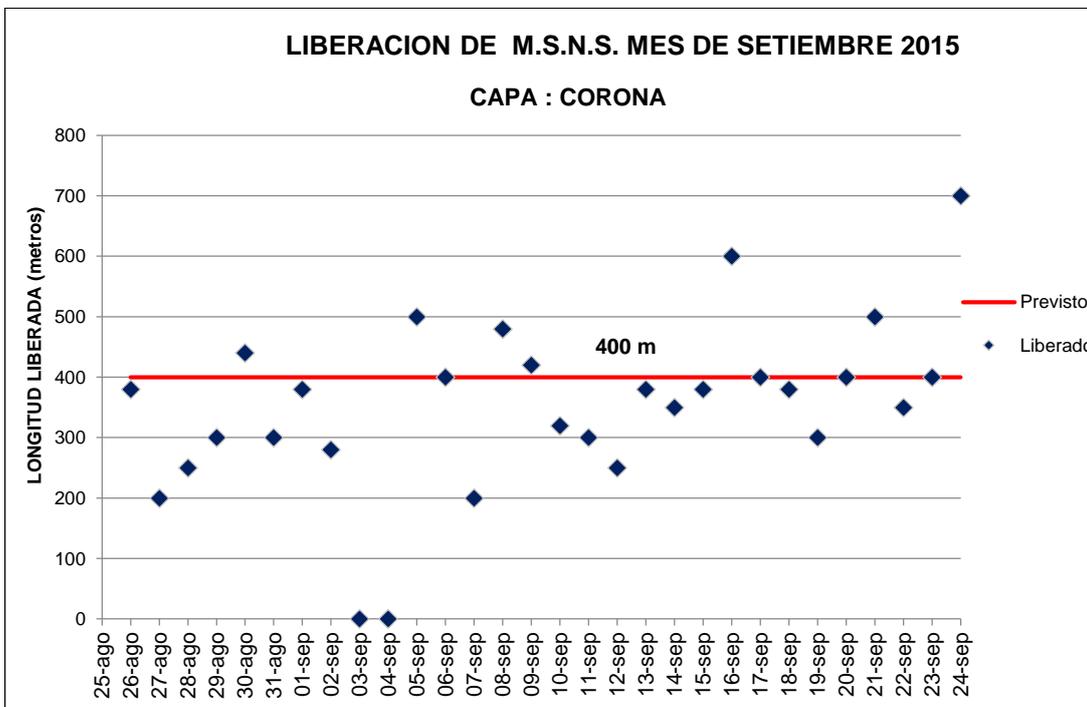
muestra las longitudes liberadas (ver anexos) en comparación con las longitudes metas por cada capa (ver figuras 40 y 41).

Figura 40: Longitudes liberadas de la base-cuerpo.



Fuente: Propia

Figura 41: Longitudes liberadas de la corona.



Fuente: Propia

Las figuras mostradas confirman la existencia de mucha variabilidad en la liberación de frentes y que la gran mayoría de las liberaciones están por debajo de lo previsto, la figura 40 muestra la longitud liberada de la capa base-cuerpo del mejoramiento, esta será la distancia que se dispondrá y se habilitará para ejecutar la capa de la corona, cabe recalcar que si no se cumple con las metas diarias que son los 210 ml no se llegaran a las metas previstas. De igual manera la última capa en ejecución que es la corona debe mostrar una mejoría ya que solo en 7 días se superó la meta, predeciblemente por los requisitos más exigentes establecidos por calidad a comparación de las capas anteriores (base-cuerpo).

Este indicador asevera el análisis efectuado sobre la variabilidad de la producción en el ítem 3.4.3.9 en donde existe un grado relativamente elevado de variabilidad y no se seguía una secuencia constante.

Los problemas recopilados por parte de calidad se presentan las que todo por el proceso constructivo y lo agentes externos que se encuentra expuesta cada capa, por eso es que se concluye en efectuar un estudio de los tiempos muertos efectuados por las cuadrilla debido a la corrección de los deterioros y defectos de las capas, de igual forma como se mencionó anteriormente el escarificado en las capas se consideran como retrabajos como se observa a continuación.

Figura 42: Tiempos de no calidad de las capas (NQT).

Capas y equipos	Tiempo de retrabajos		
	Deterioro y defectos (min)	Escarificado (min)	Tiempo total de no calidad aproximado (min)
Base			
Tractor	19.2	-	19.2
Cuerpo			
Motoniveladora	43.7	25.2	68.9
Rodillo	43.3	25.2	68.5
Corona			
Motoniveladora	57.1	36.0	93.1
Rodillo	53.1	36.0	89.1

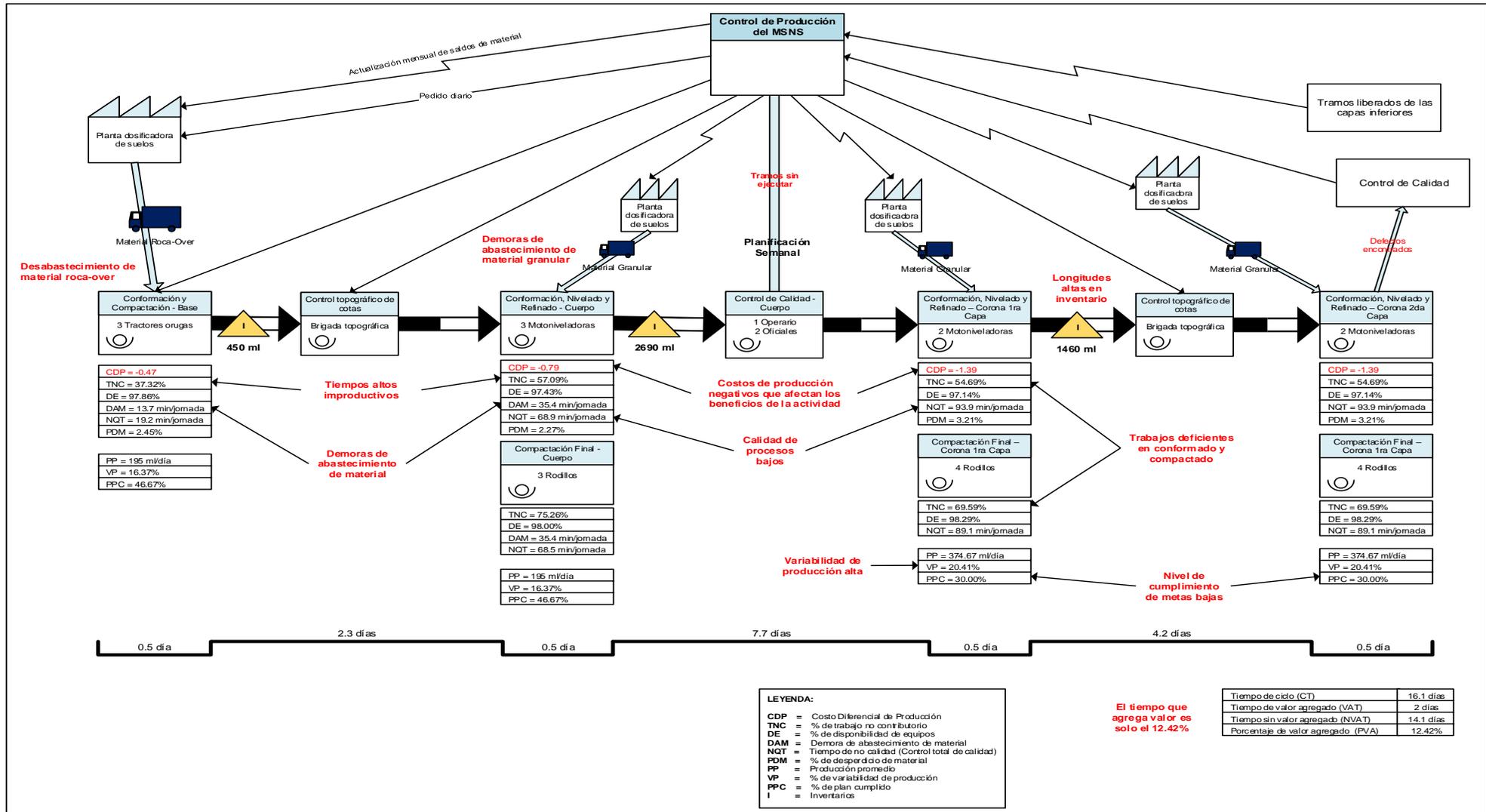
Fuente: Propia

El tiempo de los rodillos en las diferentes capas es el resultado del tiempo de espera de la conformación de la capa hasta la espera por el plantillado de los tramos escarificados.

3.4.3.13. Mapa de flujo de valor de terraplén para M.S.N.S. (MFV) – Estado actual

Luego de identificar los procesos que están involucrados directamente en la ejecución de la actividad se grafica el mapeo de flujo de valor del estado actual, en la cual se puede resaltar los valores que generan pérdidas y paras en cada una de las capas con fines de encontrar mejoras (ver figura 43).

Figura 43: Mapa de flujo de valor - Estado actual.



Fuente: Propia

3.5. EVALUACIÓN GENERAL

3.5.1. DISCUSIÓN DE RESULTADOS DE LA PRODUCTIVIDAD.

Una vez analizado y plasmado el estado actual del terraplén para M.S.N.S en el Mapa de Flujo de Valor (MFV) en la figura 43 donde nos muestra las operaciones de la actividad (los rendimientos, los tiempos de trabajo), los flujos de trabajo (inventarios, abastecimiento de material, disponibilidades mecánicas) y la organización (gestión, calidad), detallamos los principales problemas hallados que generan pérdidas en la actividad:

Planificaciones deficientes: En la ejecución de la actividad se podía observar que se dejaban tramos sin mejorar por que no se levantaban las restricciones pertinentes, esto se presentaba por ser adicionales o por estar en los centros poblados, en el presente mes de setiembre se dejó varios tramos sin ejecutar por que se estaban ejecutando muros de contención, alcantarillas, subdrenes, etc diferentes sectores por el área de obras de arte y estos retrasos se dieron porque los materiales que se pedían no llegaban en su debido momento. Esta falta de coordinación y planificación a largo plazo generan pérdidas excesivas por el transporte de equipos a estos tramos.

Gestión y coordinación en campo deficiente: Los valores obtenidos del TNC fueron principalmente por las esperas de material, cisterna, personal de topografía, falta de herramientas entre otros, durante el estudio era notorio la inconformidad de las diferentes cuadrillas porque el material tardaba en llegar en promedio de 35 min y aparte de eso no les llegaba la cantidad de material requerida y efectuar un nuevo ciclo hacían esperas más largas.

Equipos en stand by: Los equipos en proyectos viales tienen como principal problema estar en stand by, (espera de trabajo), en esta actividad y otras es inevitable no tener esta restricción debido a que las diferentes actividades son realizadas en tramos distantes y al buscar trabajo eficiente de estas generaría más pérdidas por el flete del transporte y el mantenimiento de cada una de ellas.

Variabilidad productiva de las capas: Durante el ciclo del estudio la producción diaria tuvo gran variabilidad, en el caso de la capa corona se podía ejecutar hasta el nivel de refinado 440 ml y en otros días no se liberó ni 10 ml, esto sin considerar paras por agentes externos ni cambios atmosféricos, los problemas fueron generados principalmente por la falta de materiales y personal de soporte. Las

variaciones de la producción se presentan en todo los sectores de la construcción y es una de los mayores problemas que se tiene que reducir.

Costo diferencial negativo: Los costos de la ejecución en general son negativas en comparación de otras partidas lo que implica que se generaran bajos beneficios si es que empleamos nuevos sistemas o métodos constructivos, se puede percibir que todas las operaciones en conjunto se efectúan con un grado de ineficiencia alta que se refleja en la productividad de la actividad.

Defectos excesivos: Hubo muchos tramos con problemas de deterioro en las capas (cuerno y corona) por los cambios atmosféricos, de igual manera tramos con problemas de segregación, se observó en varias oportunidades que se transportaban en un tiempo promedio de 45 min por jornada cuadrillas y equipos para efectuar trabajos de conformación y compactación de capas que ya habían sido trabajadas y hasta liberadas, lo cual incrementaba los costos iniciales e impedía efectuar más tramos para su liberación.

Altos Inventarios de trabajos en espera: Al haber altos lotes de transferencias entre las operaciones, se incrementa el tiempo de ejecución y están expuestas a la presencia de defectos por agentes externos que solucionarlas incrementarían los costos, de igual forma generan más presión a todos los involucrados por los trabajos pendientes que a su vez generan sobrecostos por estas aceleraciones, a todo esto cabe precisar que siempre es bueno contar con buffers o colchones de reserva que reduzcan en algo la variabilidad entre cada proceso sin considerar un principio de Lean Construction que considera como perdidas a todos los tipos inventarios que aparezcan.

Cumplimiento de metas bajas: Todos los problemas mencionados anteriormente afectaron considerablemente con las metas internas y contractuales, si hacemos un análisis profundo solo el 23% del tiempo por jornada en promedio busca llegar con las metas planificadas.

Localizar todos estos problemas será de suma importancia para efectuar el análisis de la identificación de causas raíz.

3.5.2. IDENTIFICACIÓN DE CAUSAS RAÍZ EN LA PRODUCCIÓN

La finalidad de este proceso es evaluar los problemas minuciosamente para encontrar las causas raíz y mitigarlos o si fuera posible eliminarlos por completo, emplearemos herramientas de evaluación como son el árbol de causas, causa-efecto, los 5 ¿Por qué? serán usadas para tener un análisis más eficiente.

Las restricciones identificadas por la combinación de varios factores (causas raíz) son la baja productividad, costos elevados y cronogramas incumplidos, es por todo lo referido anteriormente que se podrían resumir en dos puntos importantes para lograr un mejor control de las operaciones que son la variabilidad de la producción y el bajo rendimiento de los equipos en la ejecución de las capas, ya que estas al ser controladas reducirían y no originarían otros problemas, a continuación se presentan las categorías de las posibles causas que se presentan en los procesos:

- Gestión del proyecto.
- Sistema de trabajo.
- Metodología de investigación.
- Equipos.
- Mano de obra.
- Materiales.
- Involucrados.
- Sistema de medición.
- Otros.

Una vez identificada las posibles causas procederemos a analizar los dos factores más predominantes en la ejecución de la actividad.

3.5.2.1. Variabilidad de la producción

Para encontrar el verdadero problema de la variación de la producción debemos analizar el problema principal o central que da efecto a este indicador, ese estudio lo efectuaremos por medio del diagrama de árbol de causas como se muestra a continuación:

Figura 44: Diagrama de árbol de causas de la variabilidad.



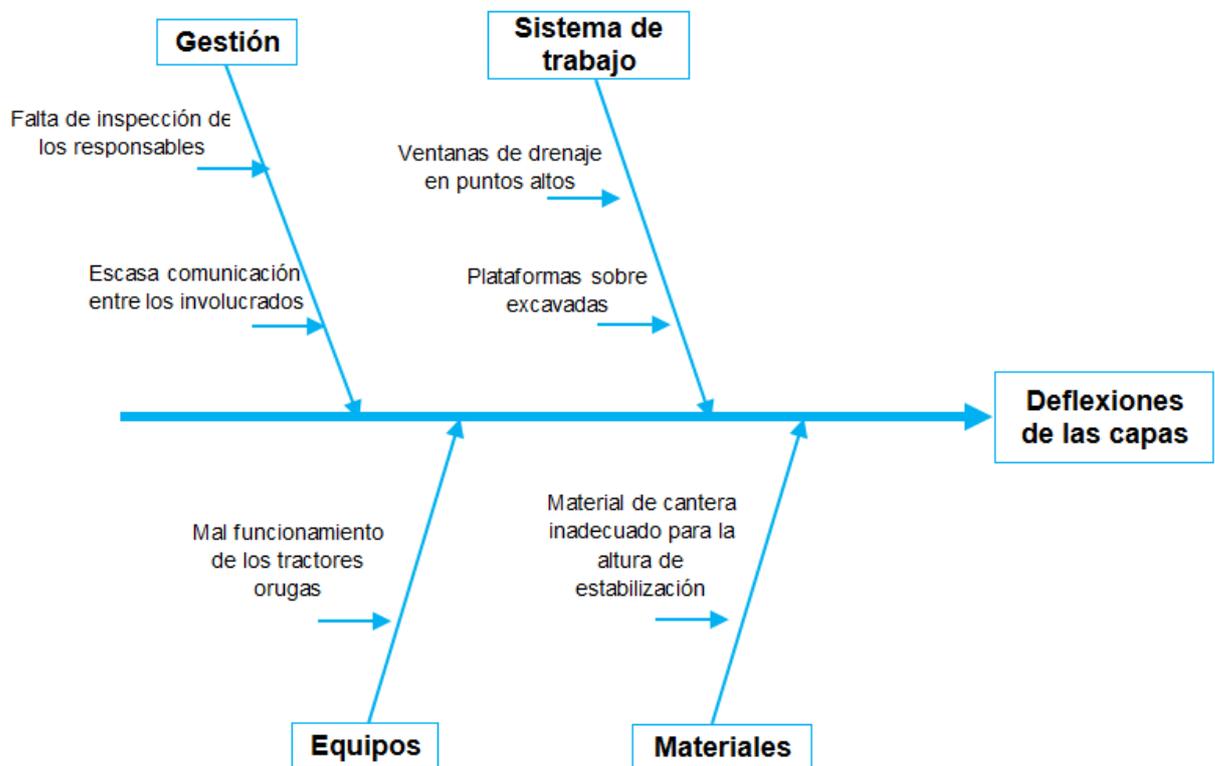
Fuente: Propia

Al analizar más a fondo la problemática de la variabilidad de la producción todos los involucrados concluyeron que este era un indicador del problema principal en la cual se manifestaron las áreas pertinentes como el área de calidad que mencionaban que más que estandarizar los procesos de liberación requerían de más personal porque no se bastecían para los diferentes tramos, de igual manera habían tramos no liberados por defectos de segregación y compactaciones deficientes, de igual forma deterioros de las capas por dejarlas expuestas a las condiciones climáticas. Otro aspecto importante a tener en cuenta son los tiempos muertos originados por las correcciones de los defectos, entonces el plan de mejora debe tener como base brindar mayores recursos al área de calidad asegurando el proceso de cada capa, de la misma forma reducir los tiempos de entrega para mitigar el tiempo de exposición de las capas, por lo mencionado debemos estudiar las causas que generan estos entregables defectuosos mediante los diagramas de Ishikawa, los problemas analizados son:

- Deflexiones en las capas.
- Segregación de material granular.
- Grado de compactación deficiente.

A continuación se muestra los diagramas de Ishikawa para los problemas analizados en las figuras 45, 46 y 47.

Figura 45: Diagrama causa efecto – Deflexiones de las capas.



Fuente: Propia

Figura 46: Diagrama causa efecto - Segregación de material granular.

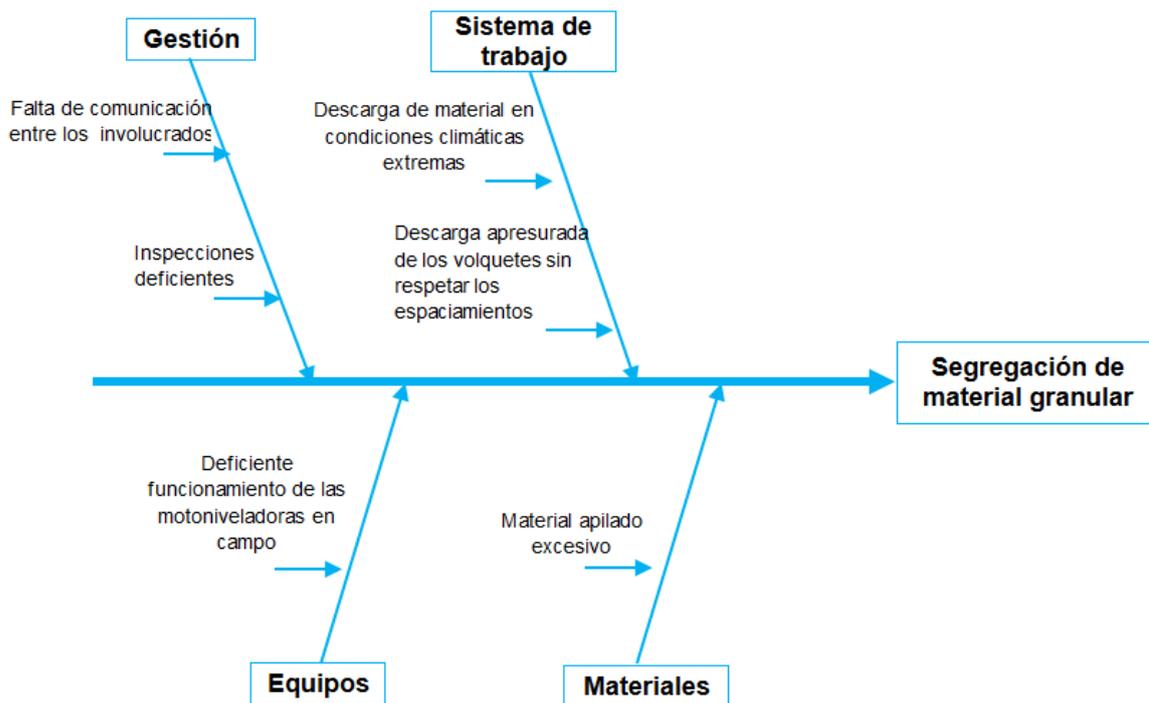
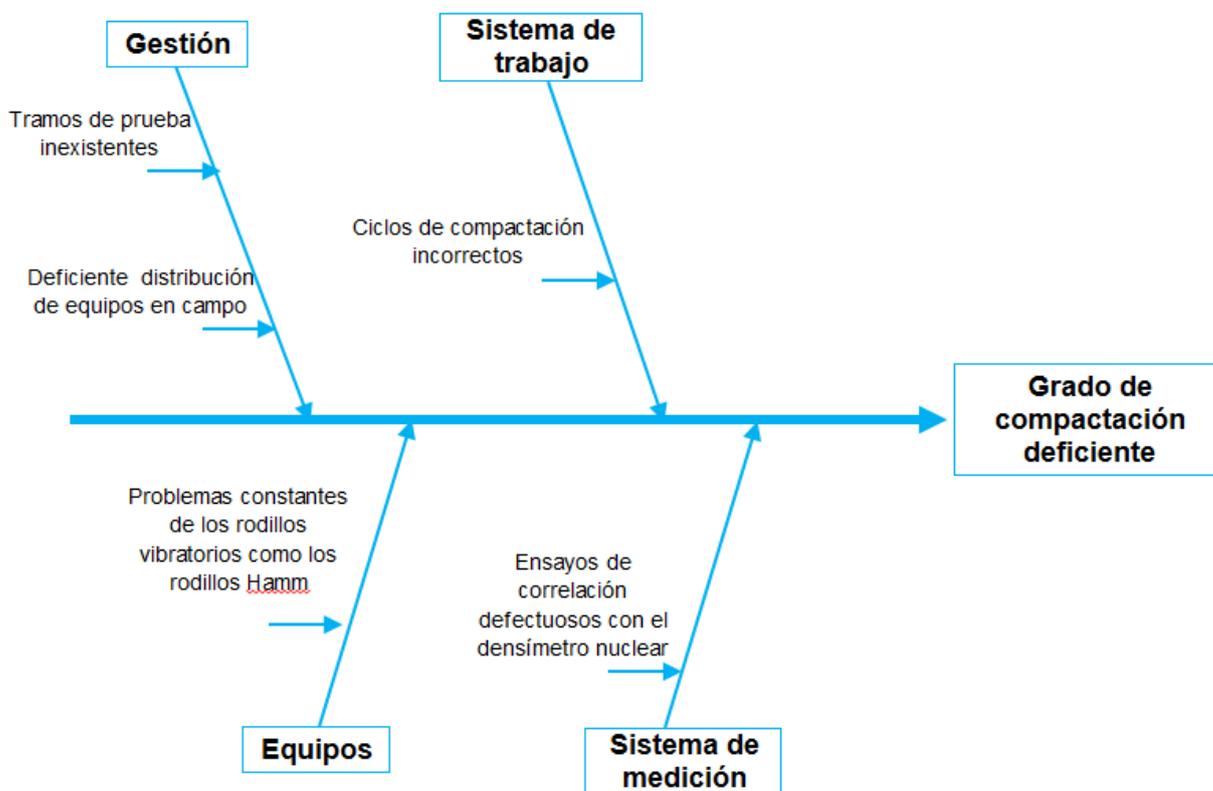


Figura 47: Diagrama causa efecto – Grado de compactación deficiente.



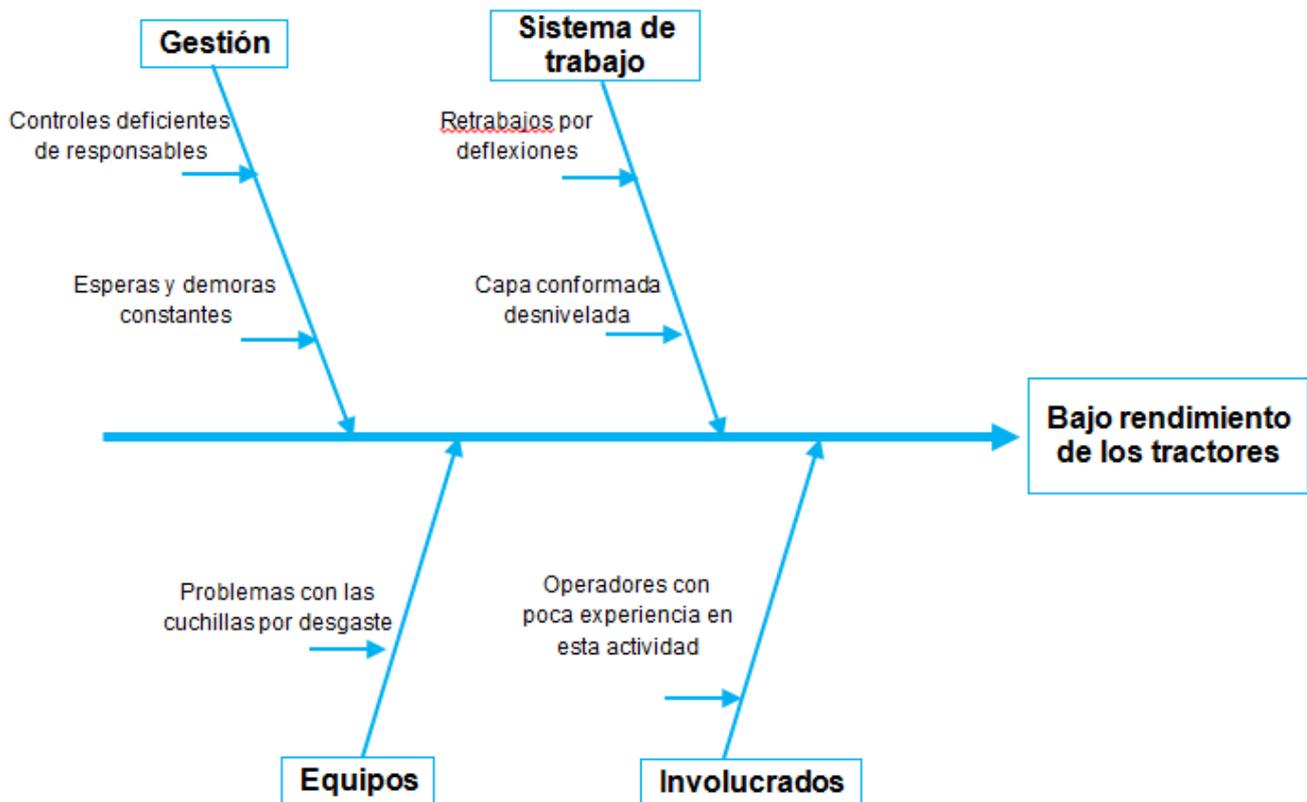
Fuente: Propia

Una vez halladas las causas se tendrán que analizar y corregir mediante la mejora de los procesos de calidad del proyecto detallados más adelante.

3.5.2.2. Bajo rendimiento de los equipos en la ejecución de las capas

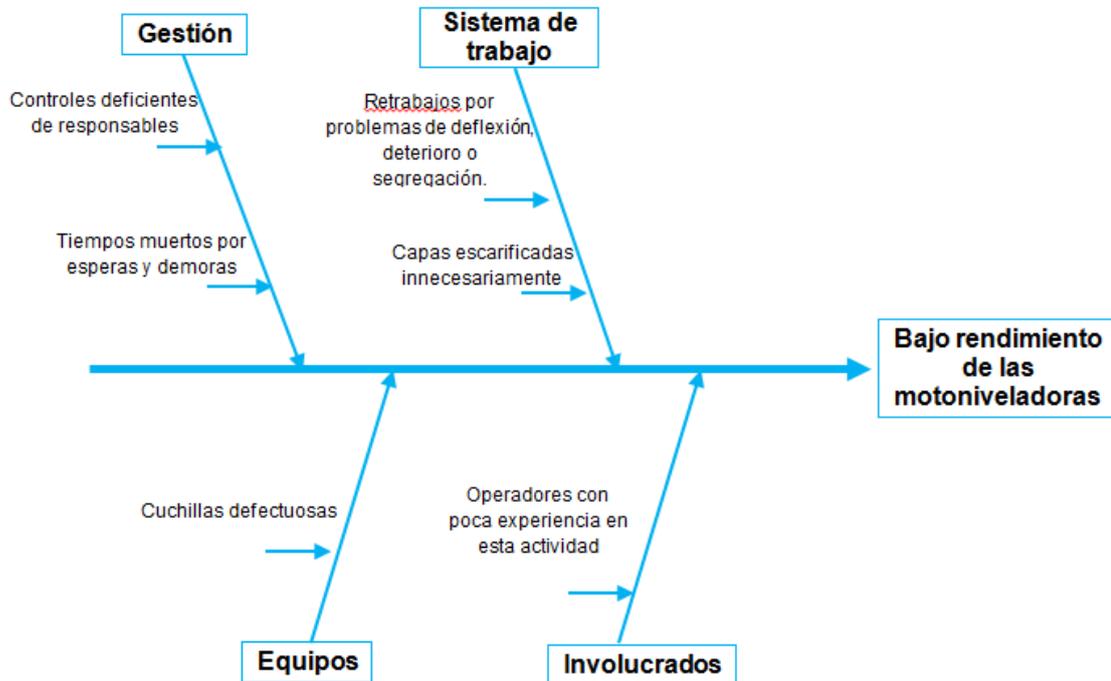
De igual forma se presentan los diagramas de Ishikawa para el problema de bajo rendimiento de los equipos en las figuras 48, 49 y 50.

Figura 48: Diagrama causa efecto – Bajo rendimiento de los tractores.



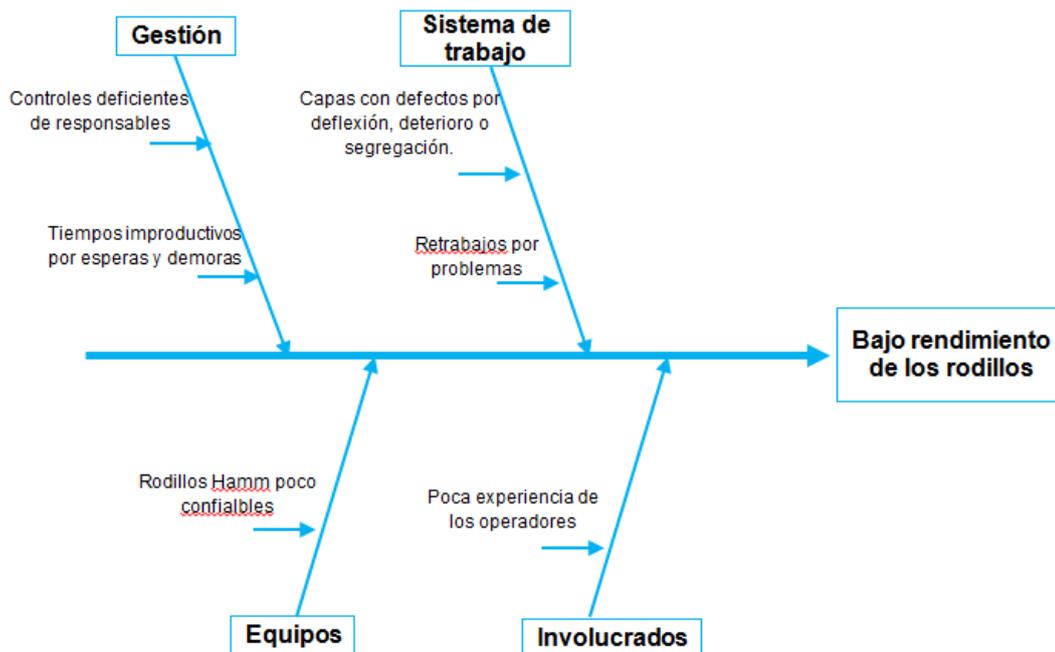
Fuente: Propia

Figura 49: Diagrama causa efecto – Bajo rendimiento de las motoniveladoras.



Fuente: Propia

Figura 50: Diagrama causa efecto – Bajo rendimiento de los rodillos.



Fuente: Propia

Al encontrar el flujo de producción y detectar todas la pérdidas y problemas de los procesos que afectan a la actividad, se tiene que encontrar oportunidades de mejora constante en la productividad.

CÁPITULO IV

SISTEMA DE MEJORA DE LA PRODUCCION

4.1. INTERVENCIÓN

Tipificado los problemas en cada capa y hallados las causas raíz, las propuestas para lograr un sistema de producción efectiva se fundamentan en plasmar los tres principios fundamentales de la filosofía Lean Construction que son:

- Asegurar que los flujos de procesos no paren.
- Asegurar que los flujos sean eficientes.
- Obtener procesos eficientes.

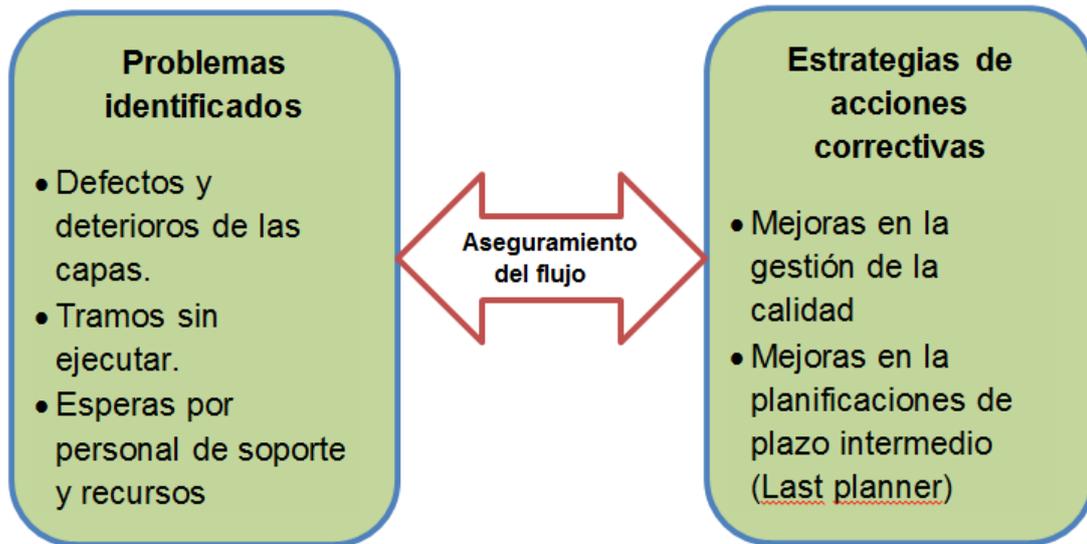
4.1.1. ASEGURAMIENTO DEL FLUJO DE PROCESOS DE LA ACTIVIDAD:

Cada para del flujo de procesos de la actividad por esperas o demoras genera tiempos muertos o improductivos que no agregan valor a las actividades, es fácil entender esta parte ya que por cada proceso que se maneja los costos son elevados y si se presentan paras generan sobrecostos y ponen en riesgo las metas programadas.

El problema principal que afecta al flujo continuo de los procesos es la variabilidad de la liberación de las capas (base-cuerpo-corona), si bien el proceso de las dos primeras capas (base-cuerpo) se efectuaba por las mañanas, el esparcido del material de la última capa (corona) se realizaba por las noches y si no se contaba con las dos primeras capas liberadas, se tenía que parar el trabajo de las cuadrillas,

en los análisis anteriores se identificó que los problemas se daban generalmente por los defectos y deterioros de las capas, esperas por personal de soporte y recursos, tramos sin ejecutar por no levantar las observaciones a tiempo, por todas estas restricciones halladas se propone estrategias de mejora a nivel general (gestión y operación).

Figura 51: Problemas identificados y estrategias de mejora del aseguramiento de los flujos.



Fuente: Propia

A partir de la identificación de los problemas y de establecer estrategias de acciones correctivas para combatir estos factores que afectan a la variabilidad de la producción se buscará los flujos de procesos adecuados reduciendo los tiempos inproductivos como se detalla a continuación:

4.1.1.1. Plan de mejora en la gestión de la calidad

Al encontrar falencias en el actual sistema de calidad del proyecto se requiere evaluar los motivos que afectan tanto en área de planificación como en la ejecución, Lean Construction trata de eliminar estos defectos en el área de calidad antes, durante y después de la ejecución de los trabajos.

Para el plan de mejora en la gestión de la calidad se tomara como base los problemas encontrados en los diagramas de Ishikawa del capítulo anterior, las siguientes tablas muestra los resultados deseados una vez encontrado los defectos, analizados sus causas raíz, la variable de

sistema de gestión de calidad y efectuado las estrategias de acciones correctivas.

Tabla 42: Plan de mejora en la gestión de la calidad.

Problemas	Causas efectos	Áreas responsables	Acciones correctivas	Resultados deseados
Deflexiones y deterioros de las capas	Ejecución de procesos deficientes (drenajes mal ubicados, sobre excavaciones)	Producción y calidad	Mejor capacitación de personal efectuando un plan de monitoreo-control en campo y mejorar la coordinación en la ejecución de los procesos	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Excelente interacción entre las áreas de apoyo y el área de operaciones. ➤ Control general de todas las pérdidas en la actividad. ➤ Tiempos improductivos eliminados, cero defectos. ➤ Capacitación de los nuevos procesos constructivos de las capas (base-cuerpo-corona)
	No se efectuó el mantenimiento necesario de la perforadora hidráulica	Gestión de equipos de producción	Planear con los encargados de cantera para el mantenimiento respectivo	
	Material de cantera inadecuado	Producción y calidad	Mejorar el control del material requerido en campo	
	Tiempo excesivo de capas expuestas a agentes externos	Oficina Técnica y Producción	Plan de continuidad de procesos para la protección de las capas	
Segregación de material granular	Procesos deficientes (descargas de material inapropiados y apresurados)	Producción y calidad	Efectuar un plan de monitoreo y control en campo, capacitación constante a los involucrados	
	Agregados apilados excesivamente	Plantas industriales	Realizar nuevos puntos de almacenamiento y capacitaciones constantes a los involucrados	
	Deficiente mantenimiento del silo de descarga	Gestión de equipos de producción	Mejor coordinación con los jefes de planta para efectuar el mantenimiento deseado	
Grado de compactación deficiente	Tramos de pruebas inexistentes	Producción	Realizar pruebas con los rodillos adquiridos para determinar el número de ciclos de compactaciones reales	
	Ciclos de compactación incorrectos	Producción y calidad	Controlar el número de ciclos que se necesita, con el tipo de rodillo utilizado	
	Equipos deficientes (rodillos Hamm)	Oficina Técnica y Producción	Efectuar adquisiciones de nuevos equipos en conjunto	
	Ensayos de correlación defectuosos con el densímetro nuclear	Calidad	Realizar la calibración del equipo y la respectiva comparación con el ensayo de cono de arena en las capas el cuerpo y la corona	

Fuente: Propia

El plan de mejora en la gestión de la calidad apreciada en la tabla anterior muestra las medidas correctivas para eliminar las pérdidas, pero es de manera general, es por eso que se debe profundizar más detalladamente las acciones correctivas que detallen los beneficios de tomar las nuevas medidas como se muestra a continuación:

Tabla 43: Correcciones para evitar las deflexiones de las capas.

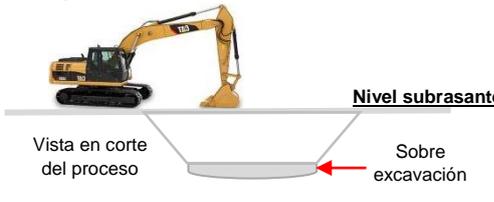
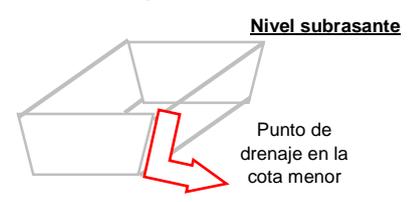
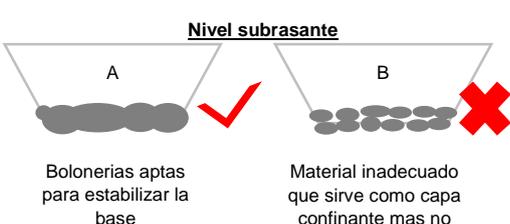
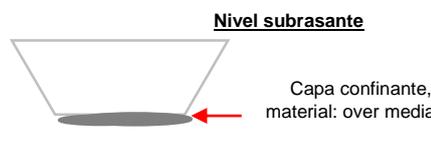
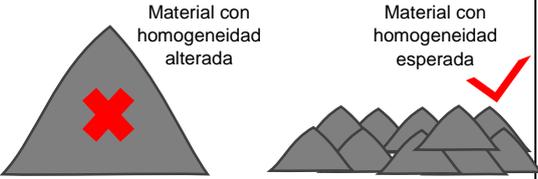
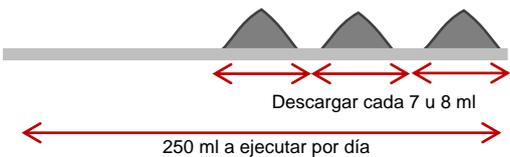
Deflexiones de capas		
Correcciones	Costos adicionales	Pensamiento Lean Construction
Mejor capacitación de personal efectuando un plan de monitoreo-control en campo, mejorar la coordinación en la ejecución de los procesos y mayor control del material de cantera requerido en campo	Los costos adicionales no son significativos teniendo en cuenta el producto final, ya que se busca orientar una metodología de trabajo simple pero efectivo. ➤ Costos adicionales en HH por las capacitaciones.	➤ Se debe tener la capacidad de implicar a todos los involucrados. ➤ La gestión visual (hazlo visible), se debe dar a conocer los procesos y deficiencias a todos los involucrados por el menor rango que se tuviese, esto ayudará a tomar las mejores decisiones y efectuarlas rápidamente.
Descripción de proceso corregido		
El proceso de trabajo cita la ejecución de las capas hasta el cuerpo, donde se ve reflejado con más frecuencia estos defectos, de igual forma se debe analizar un proceso anterior a la actividad que es el corte de plataforma, para evitar problemas de sobre excavación y cumplir con las EE.TT.		
<p>Corte de plataforma</p>  <p>Vista en corte del proceso</p> <p>Nivel subrasante</p> <p>Sobre excavación</p> <p>Se sugiere dejar un personal de piso capacitado con conocimientos de lecturas topográficas que monitoree al operador del equipo en el proceso.</p>	<p>Ventanas de drenaje</p>  <p>Nivel subrasante</p> <p>Punto de drenaje en la cota menor</p> <p>Se debe efectuar el corte de la ventana en la cota menor de toda la plataforma y no en puntos intermedios como se vio en campo, por la pendiente obtenida será más rápido el drenaje del agua.</p>	
<p>Estabilización de la capa base</p>  <p>Nivel subrasante</p> <p>A</p> <p>B</p> <p>Boloneras aptas para estabilizar la base</p> <p>Material inadecuado que sirve como capa confinante mas no como base</p> <p>Se debe inspeccionar conjuntamente con los responsables de cantera el diámetro de las boloneras y aprobar según la altura del mejoramiento.</p>	<p>Estabilización de las capas que no requieran efectuar la capa base</p>  <p>Nivel subrasante</p> <p>Capa confinante, material: over mediana</p> <p>Es recomendable colocar una capa confinante en aquellos mejoramientos que no impliquen tener estabilizaciones en la base, de esta manera se estabilizará correctamente el cuerpo.</p>	
Resultados		Comentarios
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Compromiso de ejecución entre todos los involucrados. ➤ Control de las pérdidas y reducción de tiempos improductivos. ➤ Minimizar los costos (EQ, MO, MAT) por retrabajos. 		<ul style="list-style-type: none"> ➤ Durante este proceso se debe monitorear constantemente a los encargados debido a que se pueden presentar márgenes de error. ➤ Todo lo mencionado anteriormente se debe informar a todos los involucrados efectuando capacitaciones constantes.

Tabla 44: Correcciones para evitar la segregación las capas.

Segregación de las capas		
Correcciones	Costos adicionales	Pensamiento Lean Construction
Realizar nuevos puntos de almacenamiento y capacitaciones constantes a los involucrados.	<p>Los costos se incrementaran porque se añade el trabajo del cargador frontal, almacenando el material en pilas pequeñas y transportando a la dosificadora.</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Costos adicionales por conformación de pilas con el cargador frontal ➤ Costos adicionales por almacén y transporte del material obtenido de cantera. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Optimizar la cadena de suministro levantando las restricciones observadas. ➤ Evitar los errores de la ejecución del proceso y de existir dar respuestas inmediatas a los defectos.
Descripción de proceso corregido		
El proceso de trabajo cita la ejecución de la capa corona, donde se ve reflejado estos problemas, para evitar este problema se debe cumplir con las EE.TT., donde cita que el material debe tener las propiedades y características sugeridas.		
<p>Almacenamiento de material</p>  <p>Material con homogeneidad alterada</p> <p>Material con homogeneidad esperada</p> <p>Se debe realizar pilas pequeñas en planta, que en promedio debe ser menor a 15 cubos (capacidad de 1 volquete) para que al ser transportado se conserve la homogeneidad del material, de esta forma se evitará que el material grueso se deslice a los bordes por efectos de gravedad.</p>	<p>Transporte de material granular a campo</p>  <p>Vista en planta de los volquetes y como cargar en 3 o 4 tandas el material granular</p> <p>Se debe mezclar las pilas pequeñas de material antes de ser transportadas, y al ser cargadas a los volquetes se debe evitar que el material grueso se desplace a los extremos, es por eso que una ayuda es que se cargue en tandas para evitar alteraciones en el acarreo del material.</p>	
<p>Descarga de material</p>  <p>Descargar cada 7 u 8 ml</p> <p>250 ml a ejecutar por día</p> <p>En oportunidades se observó que el material descargado por las noches se encontraban demasiado juntas la cual complicaba el batido de la misma, por eso se recomienda tener un responsable que monitoree las distancias en la cual debe ser descargada el material.</p>	<p>Conformado de material</p>  <p>Se debe asegurar que al batir el material se siga conservando esa homogeneidad ya que en los bordes de las pilas es donde se acumula el material grueso con bajo contenido del material fino y en la ejecución de la conformación de la capa sobresale el material fino y el grueso se queda en la base.</p>	
Resultados		Comentarios
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Compromiso de ejecución entre todos los involucrados. ➤ Control de las pérdidas y reducción de tiempos improductivos. ➤ Minimizar los costos (EQ, MO, MAT) por retrabajos. 		<ul style="list-style-type: none"> ➤ Durante este proceso se debe monitorear constantemente si existe zonas con segregación, especialmente en los laterales de la capa, donde es más a menudo observar estos problemas. ➤ Todo lo mencionado anteriormente se debe informar a todos los involucrados efectuando capacitaciones constantes.

Fuente: Propia

Tabla 45: Correcciones para mejorar el grado de compactación deficiente.

Grado de compactación deficiente		
Correcciones	Costos adicionales	Pensamiento Lean Construction
Control de equipos adquiridos con pruebas en tramos reales para determinar los ciclos de compactación, monitorear los procesos en campo constantemente con las constantes capacitaciones a los involucrados y la calibración correcta del densímetro nuclear	Los costos adicionales no son significativos ya que se busca orientar una metodología de trabajo, tal vez exista costos por las capacitaciones y la adquisición de nuevos equipos. <ul style="list-style-type: none"> ➤ Costos adicionales en HH por las capacitaciones. ➤ Costos adicionales por adquisición de los nuevos rodillos 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Se debe tener la capacidad de hacer interactuar a todos los involucrados. ➤ La gestión visual (hazlo visible), se debe dar a conocer los procesos y deficiencias a todos los involucrados por el menor rango que se tuviese, esto ayudará a tomar las mejores decisiones y efectuarlas rápidamente.
Descripción de proceso corregido		
El proceso de trabajo cita la ejecución de las capas base-cuerpo y corona, donde se ve reflejado con más frecuencia estos defectos, la solución se dará siempre y cuando se contemple las EE.TT. y los operadores de rodillos efectúen los ciclos correspondientes de compactación en cada capa.		
Compactación de la base-cuerpo		Compactación de la corona
		
Se debe efectuar pruebas de los nuevos rodillos adquiridos para que no tengan los mismos resultados que los rodillos Hamm, en la que puedan realizar la misma función de los otros rodillos aceptados que efectúan 6 a 7 ciclos en la capa del cuerpo para espesores de 20 a 30 cm en promedio y en la capa de la corona 8 a 9 ciclos para una altura de 30 cm que serán divididos en dos capas de 15cm de altura cada una que requerirán en número de pasadas iguales.		
Uso correcto del densímetro nuclear		
Ensayo por el método del densímetro nuclear		Ensayo por el método de cono de arena
		
Hubo mucha controversia por el uso del densímetro nuclear en la que supervisión mencionaba que no era muy confiable para efectuar los controles de calidad y esto hacia notorio el bajo rendimiento de las cuadrillas quienes hacían los controles por el método de cono de arena, es por ese motivo que se sugirió que se calibre el equipo en coordinación con los involucrados y efectuar las pruebas necesarias para correlacionar los resultados con las pruebas de cono de arena.		
Resultados	Comentarios	
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Compromiso de ejecución entre todos los involucrados. ➤ Control de las pérdidas y reducción de tiempos improductivos. ➤ Reducción de los costos (EQ, MO, MAT) por retrabajos. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Durante este proceso se debe mantener la presencia de los rodillos Dynapac y Bomag ya que el grado de confiabilidad que muestran estos equipos son óptimos. ➤ Todo lo mencionado anteriormente se debe informar a todos los involucrados efectuando capacitaciones constantes. 	

Fuente: Propia

A lo mencionado anteriormente se debe asegurar la continuidad de liberaciones por cada capa, pero al efectuarse varias actividades a la vez se requiere contar con una cuadrilla exclusivamente para esta actividad con su densímetro nuclear que sea aprobado por la supervisión, la cuadrilla estaría compuesta de la siguiente manera:

Tabla 46: Cuadrilla de control de calidad para terraplén de M.S.N.S.

Cuadrilla de control de calidad	
Cantidad	Recursos
1	Técnico de calidad
2	Ayudantes
1	Vigía
-	Materiales para ensayo de cono de arena.
1	Densímetro nuclear aprobado por supervisión.

Fuente: Propia

Se debe tener un plan de continuidad de liberaciones a diario de las capas con longitudes estandarizadas en la que debe estar involucrada la supervisión para no ir a la deriva y obtener lo que se pueda, es muy importante manejar lotes de producción pequeños ya que al manejar grandes longitudes están más propensas a sufrir defectos o deterioros.

4.1.1.2. Mejoras en la planificaciones de plazo intermedio

El consorcio Jaylli (JJC, Upaca y Mota-Engil) tiene incorporado su propio sistema de planeación de obra (Last Planner) y de igual manera los ingenieros de campo de las diferentes áreas efectúan su look Ahead y sus PTS (Plan de Trabajo semanal), pero se observó varios tramos sin ejecutar por que no se levantaron las restricciones necesarias y la poca coordinación entre las áreas responsables de campo, fue notorio corroborar que las áreas de Pavimentos y Explanaciones, Obras de Arte y Plantas Industriales efectuaban sus programaciones de acuerdo a sus intereses y la disponibilidad de recursos sin tener como restricción las consecuencias que trae para las demás áreas, en las reuniones de restricciones efectuados semanalmente se observó que eran levantadas

no en las fechas pactadas que han hecho que el sistema de planificación intermedia (Last Planner) pierda su valor, a continuación mostramos algunas recomendaciones que se pueden efectuar para mitigar estos riesgos y asegurar que el flujo de trabajo no pare.

Planificación maestra (Master Schedule):

Si bien se cuenta con un plan de trabajo (Cronograma maestro), que en general son genéricos y se ve reflejado en las metas previstas mes a mes efectuado por OT (oficina técnica) en las diferentes actividades, resultan metas con poco porcentaje de ser alcanzadas por que no se especifica en que tramos se van a ejecutar y se efectúa desde el punto de vista de cada área sin ninguna interacción entre las mismas, que se ve reflejado en las reuniones semanales en la que manifiestan que no se obtiene las metas por restricciones con las demás áreas o por recursos deficientes, es por ello que se plantea especificar a detalle las longitudes meta que se va efectuar por semana y así facilitar la planificación en campo de los trabajos. A continuación se muestra en la tabla 47 un modelo de como efectuar una planificación por hitos de entregas de capas por cada frente en plena coordinación con las demás áreas.

Tabla 47: Modelo de planificación maestra.

Entrega por cada capa		Mes meta Setiembre 25/08 al 25/09							
		Semana 1		Semana 2		Semana 3		Semana 4	
		Progresiva (km)		Progresiva (km)		Progresiva (km)		Progresiva (km)	
Capas	Base-Cuerpo	51+440	50+600	50+600	49+970	49+970	49+130	49+130	48+500
	Corona	58+000	56+400	56+400	55+200	55+200	53+600	53+600	52+400

Fuente: Propia

A comparación de los valores generales presentados o los cronogramas tediosos por partida, este cuadro es más sencillo y fácil de manejar ya que se observa los entregables por cada capa, la planificación será más sencilla ya que se podrá organizar al personal en campo a diario, mejor coordinación con las otras áreas y levantar las restricciones presentadas en cualquier momento.

Planificación por fases (Phase Schedule), Planificación intermedia (look Ahead), Plan de trabajo semanal (PTS) y análisis de restricciones (Constraints Analysis).

Las planificaciones efectuadas son monitoreadas por parte del área de gestión para llevar el control de las actividades del proyecto, sin embargo estas herramientas de control no eran efectivas en campo ya que se observaba diversas restricciones para ser cumplidas, la variabilidad del proceso se producía especialmente por la poca coordinación de las diferentes áreas porque cada una efectuaba sus programaciones sin coordinación de las áreas restantes, por ejemplo si se programaba el conformado de la subrasante en algunos tramos el área de obras de arte no terminaba de efectuar los rellenos de las alcantarillas y se paraba el trabajo, estas condiciones eran colocados como restricciones porque ponían en riesgo el flujo continuo de trabajo.

Debido a la interacción de las diferentes áreas realizando actividades en los mismos tramos se podría incorporar el sistema de arrastre (Pull system) que en efecto busca mitigar los problemas en campo con la interacción de las diferentes áreas por medio de pizarras que reflejan los procesos del proyecto, con este sistema se podría reconocer las posibles restricciones que se presentan con las otras áreas como por ejemplo las actividades de obras de arte inconclusas como muros de contención, alcantarillas, subdrenes, etc. o por falencias en plantas industriales como la cantidad de agregados para el mejoramiento sean escasas.

El sistema "Pull Phase" está incorporado especialmente en los proyectos de edificaciones mediante el uso de soporte BIM (Modelado con Información para la Construcción) donde se observa y se identifica las interferencias entre las diferentes áreas, para proyectos de carreteras sería bueno adquirir pantallas táctiles que permitan visualizar los procesos de las actividades de manera conjunta especialmente las áreas de Pavimentos y Explanaciones, Obras de Arte y Plantas Industriales que tienen más responsabilidades e interacciones en campo.

Un ejemplo claro de descoordinación fue cuando en la semana 2 del mes de setiembre se pretendía conformar la capa de la corona en el km 56+000 al 56+250, pero no se pudo efectuar porque faltaba el relleno

estructural del muro de concreto ciclópeo km 56+192.5 al km 56+225, lo paradójico fue que en la reunión anterior de restricciones el responsable de Obras de Arte aseguraba que el trabajo se finalizaba en esta semana, justo para efectuar la conformación de la corona, cuando lamentablemente no fue así, es por eso que se informó sobre esta restricción a OT a la que se tuvo como respuesta una reprogramación de trabajo a partir de la necesidad de cumplir los entregables, retrasando los trabajos pactados que se pudo evitar si se hubiese anticipado 2 semanas antes y no 1 semana como se mencionó anteriormente .

Si bien los días jueves de cada semana se efectúa las reuniones de análisis de restricciones que tienen un grado relativamente alto de confiabilidad lo que se busca con el sistema “Pull Phase” es potenciar el nivel de confianza y coordinación entre todas las áreas responsables a partir de ubicar las restricciones, los responsables y los requerimientos, para tener una mejor idea de lo mencionado se muestra un ejemplo de “Pull Phase”:

Figura 52: Ejemplo de Pull Phase del terraplén M.S.N.S.

Fecha de culminación	27-ago	28-ago	29-ago	30-ago	31-ago	01-sep	02-sep	03-sep	04-sep	05-sep	06-sep	07-sep
Requerimientos	Levantamiento de las restricciones en campo con la supervisión		Llegada de personal requerido a Lircay	Planos de construcción Actualizados	Rellenos estructurales finalizado km 56+192.5 al km 56+225							Entregable: subrasante km 56+000 al km 5700
Responsables	Ing. Miguel Ramírez (Pavimentos) y Tec. German Céspedes (Sup.)		Luis Huamán (RR.HH)	Ing. Luis Mendoza (OT)	Ing. Daniel Portocarrero (OA)							Ing. Carlos Orosco (Pavimentos)

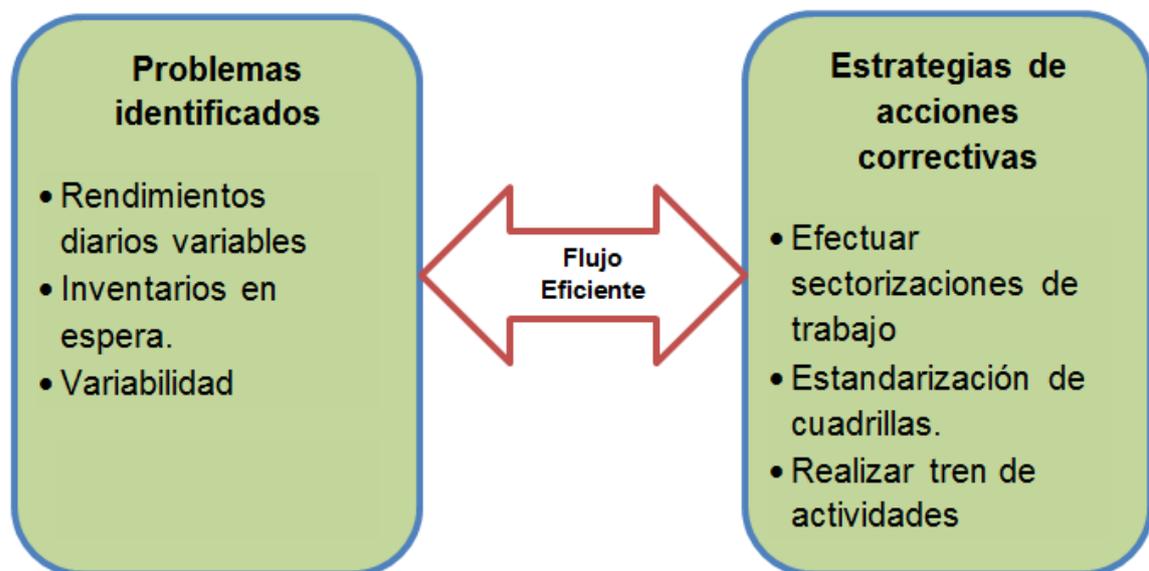
Fuente: Propia

Se debe tener muy en claro que la clave para poder efectuar este sistema es que las áreas deben sentarse y trabajar de manera conjunta para identificar aquellos puntos que puedan parar el flujo de procesos.

4.1.2. ASEGURAMIENTO DE FLUJOS EFICIENTES DE LA ACTIVIDAD

Una vez asegurado la continuidad del flujo de procesos se debe buscar la manera de que estas sean eficientes, procurando que las actividades pueden dividirse equitativamente donde la producción diaria de cada capa se repita constantemente y así conseguir un sistema balanceado de los recursos (mano de obra, equipos y materiales), por lo mencionado la figura 53 muestra las estrategias de mejora para corregir los cuellos de botella que generan la variabilidad de las actividades.

Figura 53: Problemas identificados y estrategias de mejora de los flujos.



Fuente: Propia

A partir de la recopilación de los problemas se busca combatir estos factores que afectan a que los flujos sean eficientes, las estrategias de acciones correctivas se analizan detalladamente a continuación:

- **Sectorización de trabajo por cada capa:**

En primer lugar para efectuar las sectorizaciones de trabajo se debe tener como base las metas con los recursos disponibles, de tal manera que cada lote de producción diaria dividido en el número de cuadrillas pueda ejecutarse, al tener lotes

reducidos será más sencillo efectuarlas, ahora si continuamos con la misma línea de producción diaria establecida por OT se nota que las dos capas inferiores base-cuerpo ejecutan por debajo de los 210 ml diario y que la última capa corona se estandariza en efectuar 400 ml, se deduce que las capas inferiores tienen un avance inferior a capa superior y corren el riesgo que en algún instante se podría parar los trabajos de la última capa por falta de frentes. Por ello se propone efectuar lotes reducidos que se pueden manejar y sean continuos teniendo como referencia los avances promedios y la evaluación de recursos como se muestra a continuación.

Figura 54: Sectorización por cada capa.



Fuente: Propia

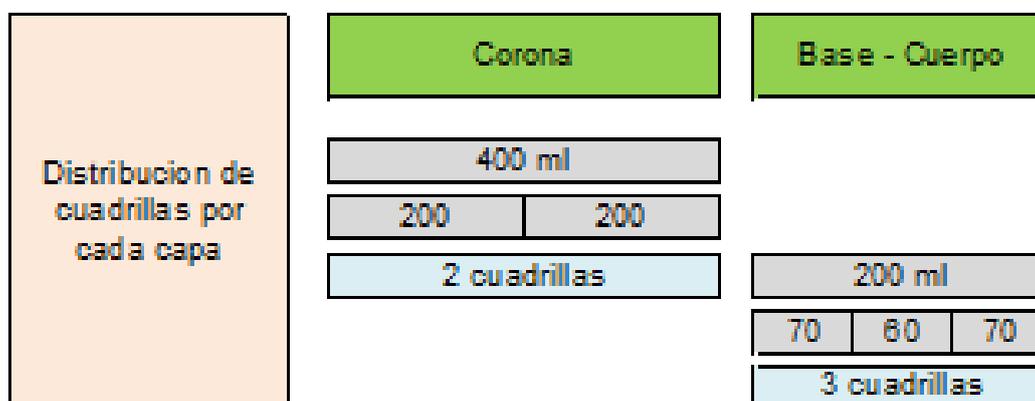
Es importante saber que a lo largo de la carretera hay tramos que no requieren la ejecución de las dos capas inferiores (base-cuerpo) por presentar suelos estables de igual manera se debe tener como estándar ese avance para mantener una continuidad con o sin tramos a ejecutar, por otro lado se efectúa obligatoriamente la última capa (corona) debido a que la capa superficial del suelo estable se encuentra deteriorada y requiere reemplazarla para después estabilizarla, por otra parte el avance lineal de la corona es por cada capa (2 capas de ejecución).

- **Dimensionamiento de las cuadrillas por cada capa**

Una vez definido el avance diario por efecto de las sectorizaciones, dimensionaremos las cuadrillas de tal forma que sean iguales al total (avance lineal

diario), en la planificación del proyecto contempla usar 3 cuadrillas para la ejecución de mejoramientos base-cuerpo y 2 cuadrillas para ejecutar la subbase y posteriormente la base, pero al no existir tramos inferiores liberados se tiene que utilizar estas cuadrillas para efectuar la capas mencionadas, para distribuir las cuadrillas en campo de la siguiente manera, las 3 cuadrillas de mejoramiento ejecutaran la capa base-cuerpo, mientras que las otras 2 cuadrillas ejecutaran la capa corona, Una vez establecido las cuadrillas se tiene que mejorar el rendimiento de los equipos en cada capa así se podrá obtener el ritmo de trabajo establecido, como se muestra en la siguiente figura:

Figura 55: Dimensionamiento por cada capa.



Fuente: Propia

- **Tren de actividades y lotes de transferencia reducidos en cada capa**

Lean Construcción recomienda reducir el tamaño de lotes y que tengan una secuencia lineal sin variaciones para poder detectar los problemas fácilmente y disminuir en plazo de tiempo de entregables, pero en los proyectos lineales puede ser que no se pueda tener una secuencia constante por la variabilidad en las actividades, por ello analizamos las posibles restricciones por las que no se puedan efectuar este proceso:

- Uno de los problemas para efectuar los procesos de manera constante fue por la espera de los volquetes con material o las cisternas de agua por los comúnmente llamado “semáforos” que no es otra cosa más que

las interferencias producidas por trabajos de obras de arte o voladuras, pero al estudiar más detalladamente esta restricción se observó que estos trabajos eran efectuados en horarios distintos, había días que no se sabía la hora exacta de las voladuras por descoordinaciones de los ingenieros de seguridad. Por ello se cree conveniente que para la capa base el material debe estar lista en cada tramo a ejecutar (volquetes estacionados con material) previa coordinación con los del turno noche, para la capa cuerpo es recomendable que a los vaciados de concreto para los muros, alcantarillas marco y voladuras se efectúen al medio día, tiempo que es destinado para el refrigerio y descanso de los trabajadores de esa forma no abra paras en el transporte del material y se llegara a tiempo a los tramos.

Figura 56: Flota de volquetes con material parados por ejecución de voladura de roca fija.



Fuente: Propia

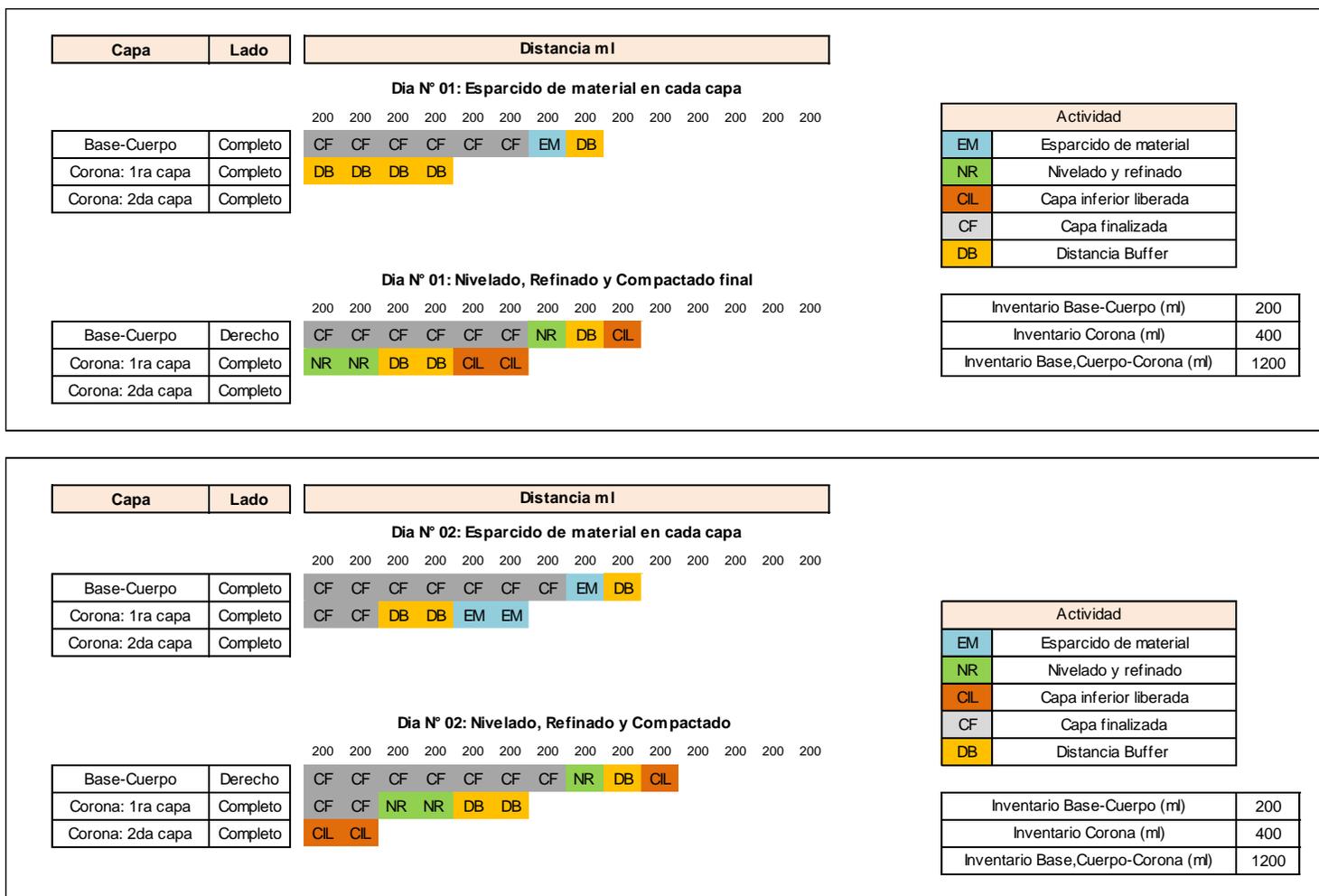
- Otra premisa que se debe dejar de lado es que las actividades sean efectuadas por las noches debido a que por la misma condición sería complicado efectuar los controles de calidad, plantillados, y liberaciones

de supervisión generando defectos y deterioros de las capas, por todo lo mencionado es que se coordinó que los trabajos sean realizados en el turno mañana.

- Efectuar un tren de actividades implica efectuar cantidad exactas de entregables lo cual es poco probable en la construcción de carreteras debido a que los tiempos de desarrollo no están automatizados, es por eso que se debe estandarizar los aseguramientos de calidad, los “Pull Phase” (mencionado en capítulos anteriores) y controlar los excesos de producción (Equipos, Mano de obra y Materiales).
- Para contrarrestar paros o retrasos en la ejecución del tren de actividades utilizaremos los llamados “buffers” o “colchones” de capacidad (tramos liberados para ejecutar), inventarios (equipos adicionales) y de tiempo (no considerar los trabajos del día domingo para ganar un poco de holgura del tiempo), de igual forma tomar medidas de posibles reclamos (documentaciones).

Se debe saber que al efectuar “buffers” se presentan holguras intencionales y por concepto se conoce que toda holgura es pérdida, pero en proyectos viales no es recomendable eliminar todos los inventarios, ya que nos ayuda a absorber procesos que tienen variabilidad, por lo mencionado no es factible reducir los lotes de transferencia planteados (base-cuerpo: 200 m, corona: 400 m), pero si podemos proponer realizar el tren de trabajo por cada capa como se aprecia en la figura 57, teniendo como base las posibles restricciones analizadas anteriormente.

Figura 57: Tren de actividades de cada capa.



Fuente: Propia

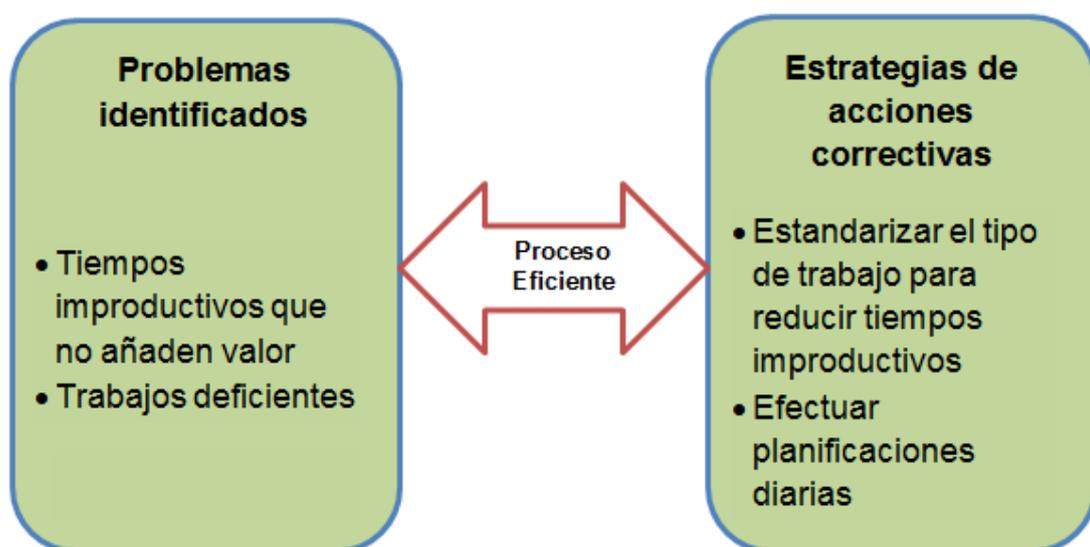
La figura muestra la incorporación de “buffers” con promedio de 400 ml por cada capa que generarán pérdidas pero se obtendrán mayores beneficios al no eliminarlas, los rangos de los inventarios no necesariamente serán exactos ya que pueden existir variabilidades que no se pueden controlar (lluvias, paros, etc.), es por eso el Mapa de Flujo de Valor (MFV) - Mejorado mostrado más adelante se incluyen estos datos máximos para monitorear y controlar la cantidad de inventario.

De igual manera se debe tener en cuenta que este ritmo de ejecución será efectivo siempre y cuando las liberaciones de capas inferiores sean eficientes ya que estas definen el ritmo de trabajo.

4.1.3. PROCESOS EFICIENTES DE LA ACTIVIDAD

Esta última propuesta consiste en analizar los tiempos improductivos, reducirlas y si es posible eliminarlas, para el siguiente análisis se pudo observar que en la ejecución de las diferentes capas se presentaron demasiados desbalances respecto a los avances diarios planificados y esto porque el desempeño de cada cuadrilla no era la esperada. Por ello se ve en la necesidad de mejorar estas falencias de las diferentes actividades, reduciendo aquellos procesos que no sean productivos como se muestra a continuación:

Figura 58: Problemas identificados y estrategias de mejora de los procesos eficientes.



Fuente: Propia

4.1.3.1. Estandarización de actividades que no generan valor

Lo primero que debemos para estandarizar las actividades es reducir o eliminar las diferentes esperas y los tiempos que no generan valor durante la ejecución de las diferentes capas por la poca coordinación con los jefes de cada área y los fejes de cada cuadrilla, estas deficiencias se presentan en cualquier momento de la jornada, a continuación se muestra las actividades que se fueron encontrando que no agregan valor:

Tabla 48: Actividades que no generan valor en terraplén para M.S.N.S.

Tipo de actividad	Actividad que no agrega valor	Áreas responsables
Tiempos Improductivos	Esperas por material	Producción y Plantas Industriales
	Esperas por personal de calidad a inicio de jornada	Calidad
	Esperas por personal de topografía inicio de jornada	Topografía
	Esperas por cisterna de agua	Producción
	Mantenimiento de equipos durante la jornada	Gestión de equipos de producción
	Paras por pase vehicular	Producción
	Paras por falta de herramientas y materiales en los tramos de ejecución	Gestión de adquisiciones
	Paras por falta de luminaria en el tramo de descarga	Producción

Fuente: Propia

Una vez reconocido los tiempos improductivos se refleja que estos sucesos se efectúan por la poca planificación e interacción con las áreas de soporte, es recomendable para evitar estas detenciones efectuar planes diarios en la que intervengan las áreas ya mencionadas, la ventaja de efectuar esta programación es mitigar las paras, anticipándonos a los procesos que se efectuarán en los días posteriores, hay que recalcar que

los procesos constructivos son variables y difícilmente se puede saber los tiempos de ejecución de cada capa por lo que se propone tener constante comunicación con las áreas de soporte y los jefes de cada frente, de igual manera el mantenimiento de los equipos se debe efectuar fuera de la jornada de trabajo.

Tabla 49: Formato de planeamiento y control diario terraplén para M.S.N.S.

REGISTRO									
PLANEAMIENTO Y CONTROL DIARIO DE PRODUCCION									
NOMBRE DE PROYECTO: REHABILITACIÓN Y MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA HUANCAVELICA Y LIRCAY									
LUGAR:	Sector 2		Fecha :						29 de Agosto del 2015
AREA:	Producción								
Actividad	Progresivas	Longitud	Recursos			Interferencias	Produccion meta diaria (ml)	Comentarios	
			Jefe cuadrilla	Materiales	Areas de soporte				
Capa base- cuerpo	50+980 - 50+910	70	Jose Martinez	Relleno	Calidad	Cisterna de agua	70		
Capa base- cuerpo	50+910 - 50+840	70	Alberto León	Relleno	Calidad y topografía	Cisterna de agua	70		
1ra Capa corona	57+200 - 57+600	200	Ruben Jara		Topografía	Cisterna de agua	200		
2da Capa corona	57+600 - 57+200	200	Eudes rosada	2 palanas	Calidad	Cisterna de agua	200		

Fuente: Propia

Luego de analizar las actividades que no agregan valor, de debe estudiar las fuentes que generan más pérdidas en cada capa, en este caso se estudian los equipos, porque todos los trabajos están en función a ellos:

Tractores sobre orugas en la capa base:

El principal problema que genera tiempos improductivos en esta etapa son por la espera de personal de topografía y a esto sumamos el tiempo en que los volquetes demoran en trasportar el material de bolonería y capa nivelante (over menudo) en promedio cada jornada 42 minutos se consume en estos procesos que generan ningún valor, se sugiere eliminar el tiempo de espera por personal de topografía y en el caso del material transportado por los volquetes se debe estudiar los ciclos (tiempos de transporte) y restar o eliminar los tiempos por descoordinaciones o por “semáforos” desde la cantera al tramo a ejecutar. Si eliminamos las esperas se tendría el siguiente flujo de trabajo.

Figura 59: Cursograma Analítico Mejorado de la ejecución de la Base.

Equipo Empleado	: Tractor de Oruga Caterpillar D6T		
Tramo	: Km 50+900 - 50+980		
Capa	: Base	Turno	: Día

N°	DESCRIPCIÓN	Distancia (m)	Tiempo (min)	Actividad				
				○	□	◐	➡	▽
1	Charla de seguridad y llenado de AST		15			x		
2	Encendido y calentamiento de motor		10			x		
3	Transporte al tramo de ejecución	80	5.2				x	
4	Plantillado topográfico		20.3			x		
5	Inspección inicial		10.4			x		
6	Descarga de material en plataforma		10.7	x				
7	Conformación de la base (roca-over)		47.3	x				
8	Estabilización de la base		20.4	x				
9	Inspección final		10.2			x		
TOTAL		80	149.5	3	3	2	1	0

Actividad	Total
Operación ○	3
Inspección □	3
Espera ◐	2
Transporte ➡	1
Almacenamiento ▽	0

Distancia (m)	80
Tiempo (min)	137

Fuente: Propia

Al reducir los tiempos improductivos el proceso incrementa su valor en un 29% respecto al proceso inicial ya que ahora solo se efectúan 9 pasos y ya no 12 como el cursograma inicial.

Aunque estos resultados pueden tener variaciones en los tramos a ejecutar por la longitud y espesor, no pueden admitir tiempos muertos por descoordinaciones, se concluyó que para no tener esperas con el personal de topografía se efectúe las reuniones después de finalizar cada jornada (por las noches) para el día siguiente como se muestra en el formato de la tabla 49 y la espera por material se daba por descoordinaciones en campo de los jefes de cada frente con los de planta

teniendo en cuenta que el ciclo real no es más de 15 minutos, y los primeros procesos a efectuar toman más tiempo que este ciclo y podría llegar en el instante que se le necesita.

Motoniveladoras en las capas cuerpo y corona:

Si bien el tiempo promedio del que agrega valor es en promedio es similar al del tractor se debe conocer por que se producen tiempos muertos en la ejecución de estas capas superiores, a continuación mostraremos los principales problemas encontrados en los diagramas causas raíz mostrados en el capítulo anterior:

Tiempos improductivos por esperas: El tiempo improductivo por las esperas es en promedio en las capas cuerpo-corona son 85 y 78 minutos respectivamente, ya se mencionó que todas estas situaciones se producen más que todo los descoordinaciones entre los involucrados y lo que aremos es mitigar estos errores que generan pérdidas.

Operadores con poca experiencia: Al realizar la consulta en RR.HH se detectó que solo 1 de los 5 operadores tenía amplia experiencia y el respaldo de los ingenieros, mientras que los restantes tenían 3 a 4 años en proyectos viales y más en actividades de mantenimiento de carreteras, teniendo en cuenta la precisión de trabajos a ejecutar los operadores efectuaban más pasadas de las normales para alcanzar los estándares de calidad y a eso sumar el desgaste acelerado de los equipos utilizados (cuchillas gastadas) no eran las más deseadas, por ello surge la necesidad de contratar mejores operadores con alta experiencia en este tipo de actividades.

Escarificados innecesarios: En los trabajos con material granular siempre se efectúan escarificaciones iniciales y esto nos hizo pensar e investigar más a fondo del por qué se tenía que hacer este proceso si ya se había culminado el trabajo días antes, es por ello que se consultó a los ingenieros de campo, capataces y operadores y manifestaban que el principal problema era por el desgaste de las capas y especialmente por factores externos como el atmosférico (lluvias, heladas, etc.) y el tránsito vehicular, de igual forma era porque en la capa superior corona se presentaban segregaciones por la que se debía efectuar un nuevo trabajo de conformado y refinado de ambas capas.

Figura 60: Escarificado por desgaste de la capa



Fuente: Propia

En proceso de ejecución efectivamente se presentan estos problemas pero esto amerita tener un plan de contingencia para que no se sigan produciendo, no es aceptable efectuar retrabajos, ya que si el trabajo esta liberado es por que cumple con todas los estándares de calidad. Ahora se debe tener en cuenta por que se producen estos problemas, en el caso de capa del cuerpo el desgaste se produce más que todo por el tiempo a la que está expuesta a agentes externos, y esto porque se debe tener tramos largos de liberaciones de las dos capas inferiores para poder efectuar la última capa sin paras por falta de frente como se mostró en el tren de actividades (figura 57), para entender mejor esto mencionamos el trabajo inicial de la capa corona en la que se manifestaba en reunión que para ejecutar 400 ml de corona, se debía tener como mínimo 2000 ml de la capa cuerpo ejecutados y liberados para que siga la secuencia de trabajo sin paras (flujo continuo), y este requerimiento era porque la capa de la corona se efectúa en la plataforma completa, mientras que el cuerpo se ejecuta por carril (para no restringir el paso vehicular de la empresa y terceros), otro punto importante a tener en cuenta es que el tiempo que

se efectuó el estudio no hubo presencia de lluvia pero si de la helada que maltrataba las capas.

Por lo mencionado anteriormente, el escarificado puede ser justificable pero en realidad no es así porque se efectúan más horas máquina y horas hombre que no son reconocidas, para no presentar estos problemas se debe hacer un plan de contingencia en la que las capas ejecutadas deben tener la capacidad de resistir estos agentes externos, a continuación mostramos algunas posibles que se pueden dar al diseño y procedimiento de cada actividad:

- Se debe efectuar una nueva mezcla del material que se a capaz de resistir al drenaje del agua o por deterioros de la helada, respetando los estándares de calidad.
- Se debe seguir el plan de gestión de calidad mostrado en la tabla 42.
- El sellado final debe ejecutarse de tal manera que impida la filtración de agua y segregación de la capa superior.
- Se debe tratar de disminuir al máximo la exposición de las capas teniendo inventarios controlados.
- Se debe tener tramos de prueba para ver el comportamiento de las capas a la exposición con las nuevas recomendaciones.

Con los análisis mencionados anteriormente y la eliminación de las esperas, operadores con baja experiencia y escarificado el proceso constructivo en cada capa seria de la siguiente manera:

Figura 61: Cursograma Analítico Mejorado de la ejecución del Cuerpo.

Equipo Empleado	: 1 Motoniveladora Caterpillar 140K		
Tramo	: Km 50+900 - 50+980		
Capa	: Cuerpo	Turno	: Día

N°	DESCRIPCIÓN	Distancia (m)	Tiempo (min)	Actividad				
				○	□	◐	➡	▽
1	Charla de seguridad y llenado de AST		15			x		
2	Encendido y calentamiento de motor		10			x		
3	Transporte al tramo de ejecución	200	5				x	
4	Descarga de material en plataforma		10.4	x				
5	Posicion de arranque	40	2.5				x	
6	Conformación y batido del cuerpo		46.4	x				
7	Plantillado topográfico		15.2		x			
8	Nivelado de cuerpo (corte y relleno compensado)		50.5	x				
9	Espera por inspección		10.1			x		
10	Refinado del cuerpo		54.3	x				
11	Espera por inspección		4.8			x		
TOTAL		240	224.2	4	3	2	2	0

Actividad	Total
Operación ○	4
Inspección □	3
Espera ◐	2
Transporte ➡	2
Almacenamiento ▽	0

Distancia (m)	240
Tiempo (min)	224.2

Fuente: Propia

Al mitigar los tiempos que no generan ganancias el proceso incrementa su valor en un 28% respecto al proceso inicial ya que ahora solo se efectúan 11 pasos y ya no 14 como el inicial

De igual manera se puede efectuar el cursograma mejorado para la última capa en ejecución que es la corona como se ve a continuación:

Figura 62: Cursograma Analítico Mejorado de la ejecución de la Corona

Equipo Empleado	1 Motoniveladora Caterpillar 140K	
Tramo	: Km 57+800 - 58+000	
Capa	: Corona	Turno : Día

N°	DESCRIPCIÓN	Distancia (m)	Tiempo (min)	Actividad				
				○	□	◐	➡	▽
1	Charla de seguridad y llenado de AST		15			x		
2	Encendido y calentamiento de motor		10			x		
3	Transporte al tramo de ejecución	80	5				x	
4	Indicaciones al operador		3			x		
5	Conformación y batido de la corona		23	x				
6	Plantillado topográfico		33		x			
7	Posicion de arranque	30	3				x	
8	Indicaciones al operador		5			x		
9	Nivelado de corona (corte y relleno compensado)		38	x				
10	Control de calidad		10			x		
11	Refinado de corona		39	x				
12	Control de calidad final		29			x		
TOTAL		110	213	3	3	4	2	0

Actividad	Total
Operación ○	3
Inspección □	3
Espera ◐	4
Transporte ➡	2
Almacenamiento ▽	0

Distancia (m)	110
Tiempo (min)	213

Fuente: Propia

Al reducir los tiempos improductivos el proceso incrementa su valor en un 25% respecto al proceso inicial ya que ahora solo se efectúan 12 pasos y ya no 16 como el cursograma inicial.

Rodillos en las capas cuerpo y corona:

De la misma manera que los tractores y motoniveladoras, poseen valores productivos aceptables pero el trabajo que se ve al final de cada jornada no es la más deseada y esto porque en número de ciclos que efectúan en las diferentes capas sobrepasan a las establecidas estos

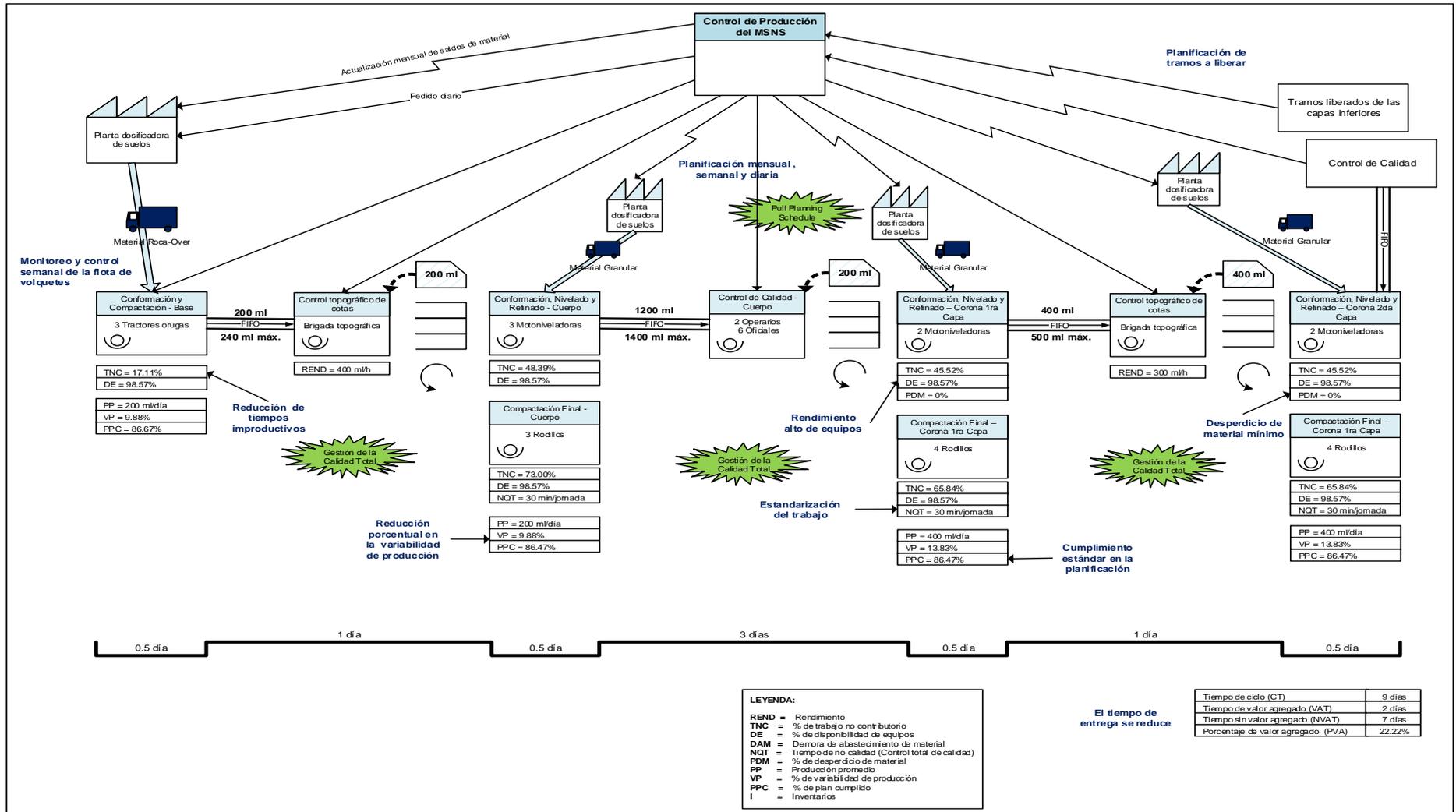
problemas se producen por el desempeño del operador o por que el equipo tenía que efectuar más ciclos con el objetivo de alcanzar los grados de compactación establecidos, detallando más a profundidad estos procesos podemos mencionar lo siguiente:

- Lo primero que se debe efectuar es tomar las medidas de mejora establecidos en la tabla 42 y 45.
- Al no considerar la escarificación de las diferentes capas se debe monitorear los ciclos de compactaciones ya que disminuirán considerablemente.
- Se debe monitorear los equipos encendidos innecesariamente cuando hay tiempos improductivos.
- De igual manera se debe tomar en cuenta los diagramas de causa efecto de Ishikawa mencionado anteriormente, cambiando los equipos Hamm que tienen muchas deficiencias en la compactación de las dos capas cuerpo-corona.
- Otro aspecto importante que se debe controlar es la velocidad promedio que debe efectuar un equipo al momento de efectuar las compactaciones, ya que de este análisis dependerá establecer una frecuencia y velocidad permisible.
-

4.2. MAPA DE FLUJO DE VALOR DE TERRAPLÉN PARA M.S.N.S. (MFV) – ESTADO MEJORADO

Finalmente luego de implementar mejoras en todos los indicadores que generaban pérdidas a la actividad se muestra los nuevos valores obtenidos en el mapa de flujo de valor mejorado (ver figura 63), este mapeo permitirá tener el control absoluto de todo el proceso de los mejoramientos (gestión y operación) para alcanzar las metas planificadas, es muy importante conocer que los valores obtenidos fueron apoyados y validados por ingenieros de producción del área de movimiento de tierras y explanaciones con muchos años de experiencia en la ejecución de carreteras que apuestan y aseveran que es factible llegar a los valores obtenidos.

Figura 63: Mapa de flujo de valor - Estado mejorado.



Fuente: Propia

El mapeo de flujo de valor muestra las mejorías que se han obtenido con el nuevo sistema de producción como se muestra a continuación:

- Gestión constante del “Pull Planning” y mejoras en la planificación de los procesos en ejecución por medio de pizarras que actualizan semanalmente los trabajos en los diferentes frentes de trabajo y corrijan las restricciones que se presentan.
- Gestión de la calidad en todos los procesos incrementando el personal en las áreas de soporte que redujo el tiempo de espera para las capas superiores.
- Reducción de tiempos muertos eliminando todas las pérdidas de las capas ejecutadas incrementando la productividad de las mismas como por ejemplo el cambio de los rodillos Hamm que presentan problemas de compactado con nuevos rodillos que si cumplen con las EE.TT, de igual manera mejor eficiencia de las motoniveladoras evitando los escarificados por defectos que se presentan como el deterioro o segregación de capas ya liberadas.
- Implementación de la producción por pasillos “FIFO” (Primero que entra - Primero que sale), que nos permite controlar la cantidad que se puede ejecutar por cada capa con el objetivo de no sobre producir mayores cantidades y así controlar los inventarios presentes en la actividad.
- Reducción de la variabilidad en los procesos constructivos, dejando tramos “buffer” controlados constantemente que eviten problemas de falta de frente en el caso de la capa base cuerpo se deja un inventario de 200 ml y en las dos capas de la corona un inventario de 400 ml, cabe recalcar que en carreteras es imposible prescindir de este tipo de inventarios ya que se debe de manejar y reducir la variabilidad de producción.
- Se redujo el tiempo de entrega de cada capa minimizando los lotes de transferencia, estandarizando el proceso general (eliminación de las pérdidas que no generan valor) y así cumplir con las metas planificadas.

CÁPITULO V

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. RESULTADOS E INTERPRETACIÓN:

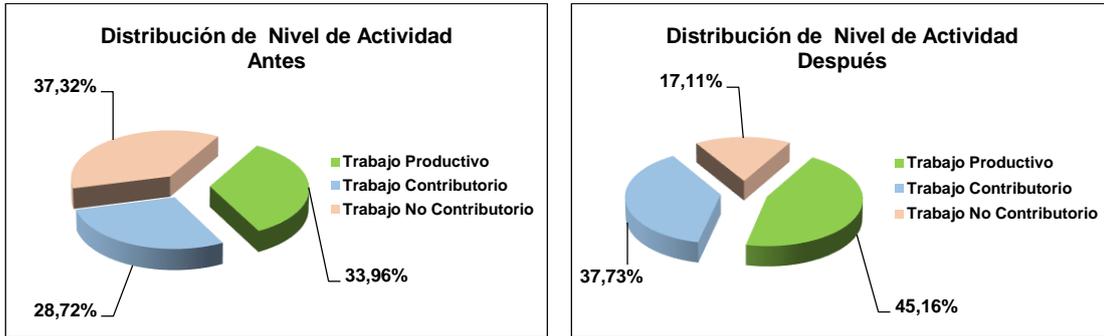
Luego de efectuar el control de pérdidas plasmados en el Mapa de Flujo de Valor (MFV) - Estado Mejorado (ver figura 63), para obtener una mejora de la productividad del terraplén para mejoramiento de suelo a nivel subrasante del proyecto “Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Huancavelica–Lircay, tramo 2: Antachancha–Lircay Km. 36+000 - Km. 73+505”, se concluye que se optimizaron los tiempos de trabajo productivo y se redujeron los tiempos de trabajo de procesos que no generan valor, minimizando los recursos para optimizar las actividades como se detallan a continuación:

5.1.1. NIVELES DE ACTIVIDAD DE TRABAJO DEL TERRAPLÉN PARA M.S.N.S.

El análisis de los tiempos de trabajo del terraplén para M.S.N.S. reflejó que los procesos que no generan valor a la actividad eran notorios y al efectuar los planes de mejora se obtuvieron resultados óptimos que se muestra a continuación:

5.1.1.1. Nivel de actividad de la capa base del terraplén M.S.N.S.:

Figura 64: Nivel de actividad de la base, tractor oruga.



Se identificó y mitigó los principales problemas que no generaban valor a la producción como las esperas por personal de topografía, por material, retrabajos en los tramos ya ejecutados obteniendo así una mejora del trabajo productivo al 45.16% del tiempo total.

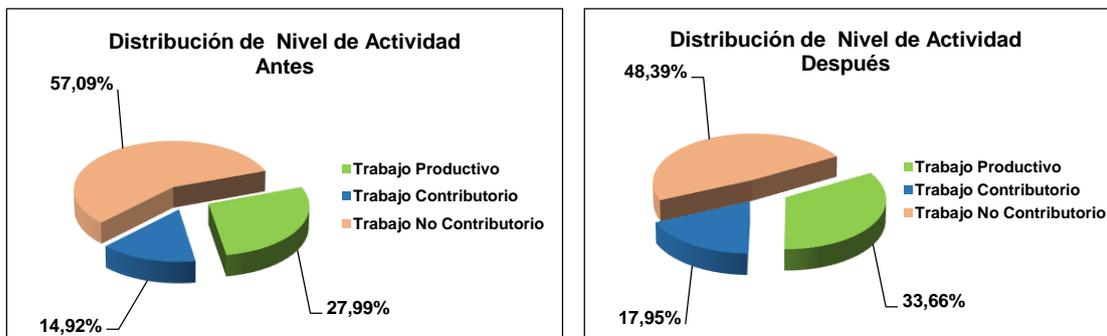
Fuente: Propia

Se identificó y mitigó los principales problemas que no generaban valor a la producción como las esperas por personal de topografía, por material, retrabajos en los tramos ya ejecutados obteniendo así una mejora del trabajo productivo al 45.16% del tiempo total.

5.1.1.2. Nivel de actividad de la capa cuerpo del terraplén M.S.N.S:

Se analizaron los trabajos de esta capa en función a los equipos de los que dependen directamente y se obtuvieron los siguientes resultados:

Figura 65: Nivel de actividad del cuerpo, motoniveladora.

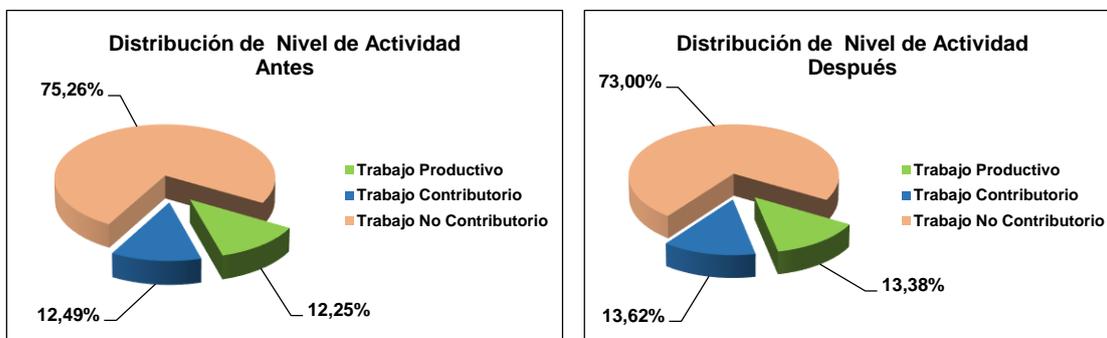


Se solucionó los principales problemas que no generaban valor a la producción como las esperas por material, retrabajos en los tramos ya ejecutados, obteniendo así una reducción del trabajo improductivo al 48.39% del tiempo total.

Fuente: Propia

Se solucionó los principales problemas que no generaban valor a la producción como las esperas por material, retrabajos en los tramos ya ejecutados, obteniendo así una reducción del trabajo improductivo al 48.39% del tiempo total.

Figura 66: Nivel de actividad del cuerpo, rodillo vibratorio.



Se corrigió los problemas que no generaban valor obteniendo así una mejora del trabajo productivo al 13.38% y reduciendo el trabajo improductivo casi al 73% del tiempo total.

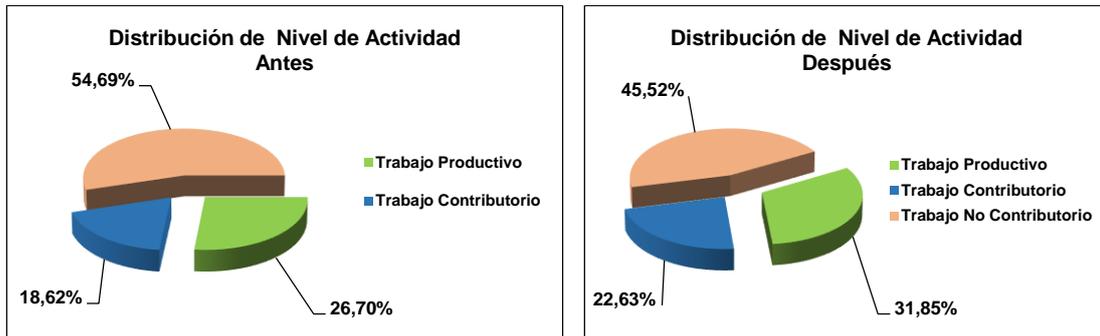
Fuente: Propia

Se corrigió los problemas que no generaban valor obteniendo así una mejora del trabajo productivo al 13.38% y reduciendo el trabajo improductivo casi al 73% del tiempo total.

5.1.1.3. Nivel de actividad de la capa corona del terraplén M.S.N.S.:

De igual manera que en la capa cuerpo se analizaron los trabajos de esta última capa en función a los equipos de los que dependen y se obtuvieron los siguientes resultados:

Figura 67: Nivel de actividad de la corona, motoniveladora

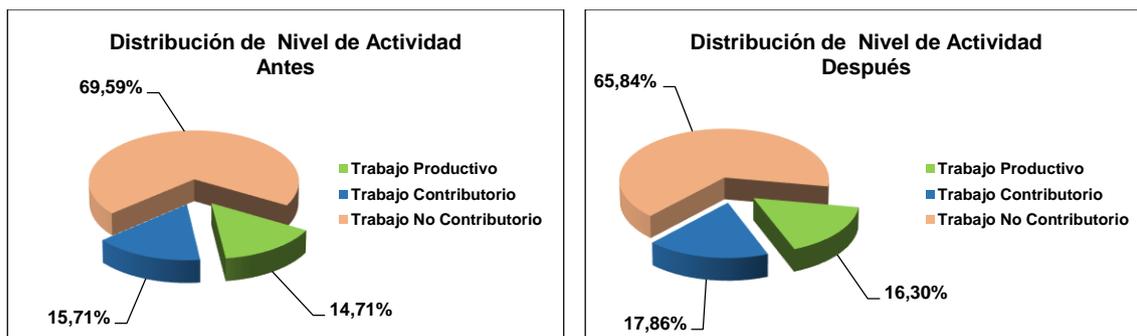


Se logró estandarizar el trabajo productivo llegando a superar la mitad del tiempo total trabajo, de la misma manera se redujo el trabajo improductivo eliminando procesos que no generan valor como el escarificado o retrabajos en otros frentes obteniendo un promedio del 45.52% del tiempo total.

Fuente: Propia

Se logró estandarizar el trabajo productivo llegando a superar la mitad del tiempo total trabajo, de la misma manera se redujo el trabajo improductivo eliminando procesos que no generan valor como el escarificado o retrabajos en otros frentes obteniendo un promedio del 45.52% del tiempo total.

Figura 68: Nivel de actividad de la corona, rodillo vibratorio



Se mejoró los tiempos de trabajo estandarizando los procesos que aportan a la ejecución de la actividad, en líneas generales se minimizó los trabajos improductivos llegando a obtener un promedio del 65,34% del tiempo total.

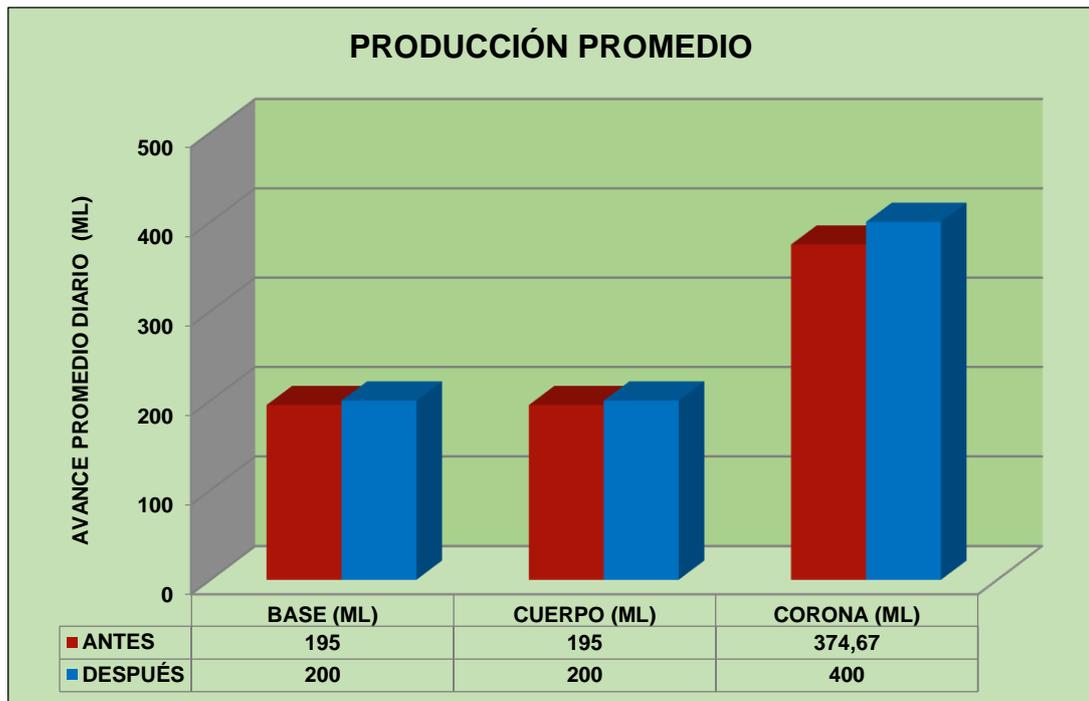
Fuente: Propia

Se mejoró los tiempos de trabajo estandarizando los procesos que aportan a la ejecución de la actividad, en líneas generales se minimizó los trabajos improductivos llegando a obtener un promedio del 65,34% del tiempo total.

5.1.2. PRODUCCIÓN PROMEDIO

Luego de reducir los tiempos que no generan valor se buscó obtener lotes de producción constantes para reducir la variabilidad, minimizar inventarios y cumplir con las metas trazadas.

Figura 69: Producción promedio por cada capa.



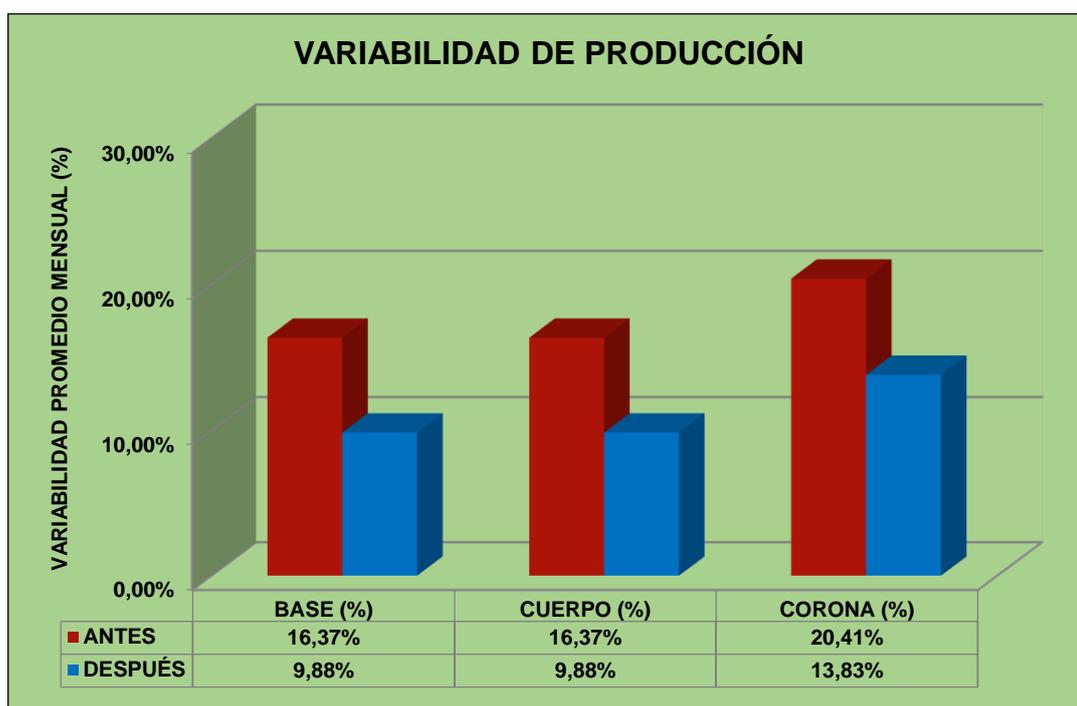
Fuente: Propia

La imagen muestra una mayor distancia de ejecución en todas las capas del terraplén para M.S.N.S. respecto a lo que se venía realizando, aparte de lograr distancias de ejecución estas distancias de ejecución óptimas minimizan riesgos de variabilidad por ser constantes.

5.1.3. VARIABILIDAD DE PRODUCCIÓN

Luego de analizar y mitigar los procesos que generan retrasos y pérdidas vista en los capítulos anteriores se presenta en la figura 70 los nuevos valores de la variabilidad de producción por mantener una constante en los lotes de producción y transferencia de cada capa.

Figura 70: Variabilidad de producción por capa.



Fuente: Propia

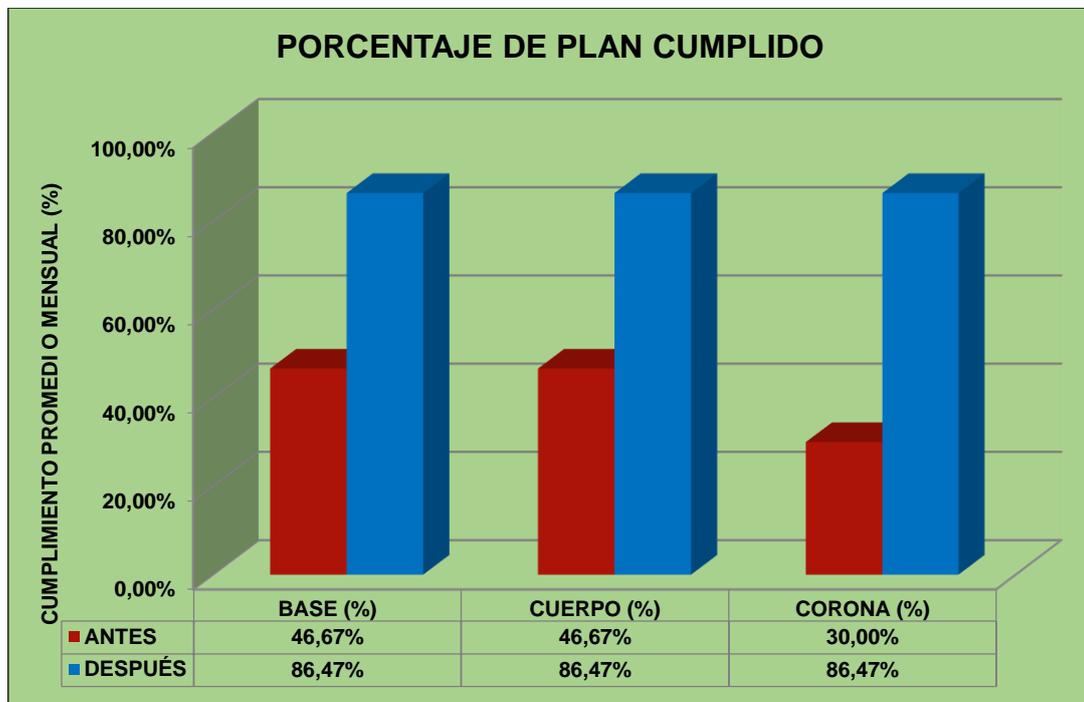
La figura anterior muestra que hubo una reducción de la variabilidad en cada capa al aplicar los controles de pérdidas en la actividad, lo cual es de suma importancia para lograr las programaciones planificadas

5.1.4. PORCENTAJE DE PLAN CUMPLIDO

Al efectuar todo el análisis del caso de estudio se obtuvo ratios de producción bajos, inventarios en exceso, mucha variabilidad en la ejecución de cada capa y cumplimiento de actividades bajas, por ello al ejecutar las mejoras en la parte

operativa y de gestión se obtuvo resultados beneficiosos que ayudaron a mejorar los flujos de cada proceso y alcanzar las metas previstas inicialmente.

Figura 71: Porcentaje de plan cumplido por cada capa.



Fuente: Propia

Se muestra en la imagen las mejoras en el cumplimiento de metas de cada capa llegando a valores por encima del 85% que son más que alentadores para seguir optando por este tipo de sistema de trabajo.

5.2. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS

El trabajo efectuado no imperiosamente es una investigación estadística ni probabilística por que la muestra (carretera Huancavelica – Lircay, tramo 2 Antacancha - Lircay) es no probabilística y el muestreo fue intencionado.

Por consiguiente, al culminar el análisis, discusión y contrastación se reafirma que la hipótesis: Aplicación del control de pérdidas con la filosofía Lean Construcción mejora la productividad, optimizando el tiempo y calidad de los trabajos ejecutados en cada capa.

En relación a las hipótesis específicas proyectadas, se menciona:

- Fue factible verificar la efectividad del control del flujo de actividades respecto al tiempo de ejecución de las capas base, cuerpo y corona del terraplén Mejoramiento de Suelo a Nivel Subrasante de la Carretera Huancavelica – Lircay, tramo 2: Antacancha – Lircay.
- Se logró controlar los procesos de ejecución de las capas base, cuerpo y corona respecto a la calidad del terraplén para Mejoramiento de Suelo a Nivel Subrasante de la Carretera Huancavelica - Lircay, tramo 2: Antacancha – Lircay.
- Se verificó la efectividad de la aplicación de un nuevo sistema de producción respecto al tiempo y calidad de ejecución de las capas base, cuerpo y corona del terraplén para Mejoramiento de Suelo a Nivel Subrasante de la Carretera Huancavelica – Lircay, tramo 2: Antacancha – Lircay.

CÁPITULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES:

1. Se mejoró la productividad del terraplén para mejoramiento de suelo a nivel subrasante identificando y corrigiendo los diferentes tipos de pérdidas que no se tomaban en cuenta al instante de cumplir las metas como el escarificado que significaba realizar retrabajos por procesos deficientes, esperas de material por descoordinaciones en campo, excesos de inventarios expuestas a agentes externos como las lluvias o paso vehicular, tiempos muertos por esperas de personal de soporte como topografía y calidad, entre otros.
2. La implementación del mapa de flujo de valor (MFV) y la planificación por fases “Pull Planning” fueron de suma importancia ya que se controló el flujo de procesos durante la ejecución de cada capa y se mejoró la interacción de los responsables de cada área como producción, calidad, topografía, oficina técnica, plantas industriales, entre otros, minimizando el tiempo de ejecución de los trabajos, por ejemplo uno de los casos fue la mejora del tiempo improductivo por la espera de abastecimiento de material desde cantera (km 40+080) a los tramos mejorados en la capa cuerpo de 35.4 min en promedio por jornada diaria a no tener tiempos muertos por esta espera (0 min.).
3. La implementación del aseguramiento de la calidad fue efectiva porque se logró identificar y eliminar diferentes procesos deficientes que se presentaron, como por ejemplo: el proceso de escarificado durante la ejecución del refinado de las capas cuerpo y corona por diferentes problemas que se presentaban como el deterioro y la

segregación de las mismas reduciendo los tiempos de no calidad en ambas capas de 80 min. en promedio por jornada diaria a un estimado de 30 min.

4. Al realizar los planes de mejora en el nuevo sistema de producción se estandarizó el tiempo y la calidad de los procesos, manifestándose en la reducción de la variabilidad de la producción diaria de todas las capas en un porcentaje promedio estimado del 11.2%, esto a consecuencia de reducir los lotes de producción (tren de actividades), mitigando el riesgo del deterioro de todas las capas por los inventarios en exceso que se venían presentando. Si bien los inventarios se asemejan a pérdidas no es posible ni factible eliminarlos completamente, es necesario dejar tramos “buffer” que puedan absorber la variabilidad que pueda presentarse en algún momento del proyecto.

6.2. RECOMENDACIONES:

1. Si se desea implantar un nuevo sistema de producción en la construcción se debe realizar un diagnóstico inicial de todos los procesos que no generan valor al proyecto tanto en la parte de gestión y operación de cada actividad con fines de buscar planes de mejora significativas.
2. Se recomienda implantar constantemente la planificación por fases “Pull Planning” en todos los campos del sector construcción para tener un mejor alcance de los procesos en conjunto, de esta manera se busca identificar y solucionar las posibles restricciones que puedan afectar la ejecución de cada proceso en las diferentes áreas del proyecto, de igual forma los mapeos de flujo de valor en las diferentes actividades de la construcción para que de esta manera se pueda reconocer de forma sencilla las diferentes pérdidas que influyan en la producción para luego ser analizadas y corregidas.
3. Para investigaciones futuras se recomienda estudiar más a fondo los equipos en stand by (en espera), para poder reducir los tiempos de trabajo no contributivo.
4. Se debe implantar capacitaciones constantes a cada cuadrilla de trabajo (mano de obra y operadores de equipos) sobre las pérdidas en la construcción para concientizar al personal y minimizar errores que influyen directamente en la productividad. Es de conocimiento general que los proyectos viales dependen de los equipos y su efectividad se refleja en la productividad de cada proceso.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Ghio C. (2001), Productividad en obras de construcción: Diagnóstico, crítica y propuesta, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.
- (2) Román C. (2015), “Aplicación de las metodologías construcción sin pérdidas e innovación tecnológica para la mejora de la productividad en procesos de pavimentación”, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.
- (3) Rubio R. (2010), “Aplicación de la producción en serie en la industria de la construcción”, Instituto Tecnológico de la construcción, México D.F.
- (4) Guzmán T. (2014), “Aplicación de la filosofía lean construction en la planificación, programación, ejecución y control de proyectos”, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.
- (5) Brock J., May J. y Renegar G. (1994), “Segregación: causas y soluciones”, Boletín Técnico T-117S, Estados Unidos.
- (6) Nolh J y Dommick B. (2000), “Stockpile Segregation”, Estados Unidos.
- (7) Centeno R. (2004), “Experiencias en el uso y abuso de vibro compactadoras para la densificación de materiales granulares cementados y no Cementados”, Universidad Central de Venezuela, Caracas.
- (8) Koskela L. (1992), “Application of the New Production Philosophy to Construction”.
- (9) Jones D. y Womack J. (2000), “Lean Thinking”.
- (10) Serpell A. (1993), “Administración de obras de construcción”, Universidad Católica de Chile, Santiago de Chile.

- (11) Serpell A. (2002), "Administración de Operaciones de Construcción", Universidad Católica de Chile, Santiago de Chile.
- (12) Shingo S. (1981), "A Study of the Toyota Production System".
- (13) Ploss G. (1991), "Managing in the world of manufacturing".
- (14) Wandhal S. (2014) "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.
- (15) Inokuma A., Aoki M. Shimura M., Nagayama D., Koisumi C. (2014), "Absence in the provenance? Lean Construction and its aplicability in Japan". Ponencia aceptada en la 22va conferencia anual del International Group for Lean Construction (IGLC), Oslo, Noruega.
- (16) Rother M. y Shook J. (1999), "Learning to see: Value Stream Mapping to créate value and eliminate muda" Lean Enterprise Institute, Brookline, Estados Unidos.
- (17) Rosenbaum S. (2012), "Aplicación de mapas de Cadena de Valor para detección de pérdidas productivas y medioambientales", Universidad de Chile, Santiago de Chile
- (18) Ballard G. (2000), "The last planner system of production control", Sustentación doctorado, Universidad de Birmingham, Inglaterra.

ANEXOS

ANEXO A
(Plano de general del proyecto)

ANEXO B
(Tiempo camino del proyecto)

ANEXO C: Formato de carta balance para la capa base – cuerpo ()

NOMBRE DE PROYECTO:	
ACTIVIDAD:	
DIA	
TRAMO:	KM

N°	TIEMPO MIN	EQUIPOS UTILIZADOS				COMENTARIOS
		MOTONIVELADORA	RODILLO COMPAC.	TRACTOR ORUGA		
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						

TIPOS DE TRABAJO

Trabajo no Contributorio

Equival.	Código	Tipo de trabajo
A	EM	Espera por material
B	PFM	Parada por falla mecánica
C	SB	Stand by (en espera)
D	ECA	Espera de cisterna de agua
E	EPC	Espera por personal de calidad
F	EPC	Espera por personal de topografía
G	EPS	Espera por personal de supervisión
H	RET	Retrabajos

Trabajo Contributorio

Equival.	Código	Tipo de trabajo
K	CH	Charla de seguridad y llenado de AST
L	RA	Recarga y ajuste de equipos a usar
M	EM	Encendido de motor
N	IN	Indicaciones
Ñ	MT	Mediciones topográficas
O	CCIF	Control de calidad inicial y final
P	TLC	Trazo de líneas y correcciones
Q	ER	Elaborar reportes de campo

Trabajo Productivo

Equival.	Código	Tipo de trabajo
R	CB	Compactación del terreno de fundación
S	CM	Colocación de material in situ
T	CB	Conformación de la base (roca-over)
U	CBA	Compactación de la base
V	CBC	Conformación y batido del cuerpo del mejoramiento (mat. Integral)
W	NC	Nivelado del cuerpo (corte y relleno compensado)
X	CC	Compactación del cuerpo
Y	RC	Refinado del cuerpo
A4	ECR	Escarificado de capa con repper

ANEXO D: Formato de toma de datos para la capa corona

NOMBRE DE PROYECTO:	
ACTIVIDAD:	
DIA	
TRAMO:	KM

N°	TIEMPO MIN	EQUIPOS UTILIZADOS				COMENTARIOS
		MOTONIVELADORA	RODILLO COMPAC.			
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						

TIPOS DE TRABAJO

Trabajo no Contributorio

Equival.	Código	Tipo de trabajo
A	EM	Espera por material
B	PFM	Parada por falla mecánica
C	SB	Stand by (en espera)
D	ECA	Espera de sistema de agua
E	EPC	Espera por personal de calidad
F	EPC	Espera por personal de topografía
G	EPS	Espera por personal de supervisión
H	RET	Retrabajos

Trabajo Contributorio

Equival.	Código	Tipo de trabajo
K	CH	Charla de seguridad y llenado de AST
L	RA	Recarga y ajuste de equipos a usar
M	EM	Encendido de motor
N	IN	Indicaciones
Ñ	MT	Mediciones topográficas
O	CCIF	Control de calidad inicial y final
P	TLC	Traza de líneas y correcciones
Q	ER	Elaborar reportes de campo

Trabajo Productivo

Equival.	Código	Tipo de trabajo
Z	CBCO	Conformación y batido de la corona (mat. zarandeado)
A1	NCO	Nivelado de la corona (corte y relleno compensado)
A2	CCO	Compactación de la corona
A3	RCO	Refinado de la corona (mat. zarandeado)
A4	ECR	Escarificado de capa con repper

ANEXO E: Resumen de carta balance capa base - tractor oruga

NOMBRE DE PROYECTO:	Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera: Huancavelica – Lircay		
ACTIVIDAD:	Mejoramiento de Suelo a Nivel Subrasante		
CAPA:	Base – Cuerpo	TRAMO:	KM 50+980 - 50+900
RESPONSABLE:	Martínez	DIA:	Sábado 29/08/2015
DATOS DE CAMPO			

TIEMPO MIN		DESCRIPCION DE TIPO DE TRABAJO			
INICIO	FIN	TRACTOR			COMENTARIOS
07:01	07:15	K			
07:15	07:26	M			
07:26	07:32	P			
07:32	07:53	F			
07:53	08:04	N			
08:04	08:19	B			
08:19	08:29	O			
08:29	08:52	A			
08:52	09:02	S			
09:02	09:47	T			
09:47	10:06	V			
10:06	10:17	O			
		MOVILIZADO AL DME 57+000			

TIPOS DE TRABAJO

Trabajo no Contributorio

Equival.	Código	Tipo de trabajo
A	EM	Espera por material
B	PFM	Parada por falla mecánica
C	SB	Stand by (en espera)
D	ECA	Espera de cisterna de agua
E	EPC	Espera por personal de calidad
F	EPC	Espera por personal de topografía
G	EPS	Espera por personal de supervisión
H	RET	Retrabajos

Trabajo Contributorio

Equival.	Código	Tipo de trabajo
K	CH	Charla de seguridad y llenado de AST
L	RA	Recarga y ajuste de equipos a usar
M	EM	Encendido de motor
N	IN	Indicaciones
N	MT	Mediciones topográficas
O	CCIF	Control de calidad inicial y final
P	TLC	Trazo de líneas y correcciones
Q	ER	Elaborar reportes de campo

Trabajo Productivo

Equival.	Código	Tipo de trabajo
R	CB	Compactación del terreno de fundación
S	CM	Colocación de material in situ
T	CB	Conformación de la base (roca-over)
U	CBA	Compactación de la base
V	CBC	Conformación y batido del cuerpo del mejoramiento (mat. Int)
W	NC	Nivelado del cuerpo (corte y relleno compensado)
X	CC	Compactación del cuerpo
Y	RC	Refinado del cuerpo
A4	ECR	Escarificado de capa con repper

ANEXO F: Resumen de carta balance capa cuerpo - motoniveladora

NOMBRE DE PROYECTO:	Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera: Huancavelica – Lircay		
ACTIVIDAD:	Mejoramiento de Suelo a Nivel Subrasante		
CAPA:	Cuerpo	TRAMO:	KM 50+980 - 50+900
RESPONSABLE:	Martínez	DIA:	Sábado 29/08/2015
DATOS DE CAMPO			

TIEMPO MIN		DESCRIPCION DE TIPO DE TRABAJO			
INICIO	FIN	MOTONIVELADORA			COMENTARIOS
07:01	07:16	K			
07:16	07:26	M			
07:26	07:47	B			
07:47	07:52	P			
07:52	10:17	C			
10:17	10:54	A			
10:54	11:05	S			
11:05	11:30	D			
11:30	11:33	P			
11:33	12:00	V			
12:00	13:00	REFRIGERIO			
13:00	13:37	V			
13:37	14:01	F			
14:01	14:19	Ñ			
14:19	15:11	W			
15:11	16:03	C			
16:03	17:06	Y			
17:06	17:40	C			
17:40	17:49	O			
17:49	18:00	Q			

TIPOS DE TRABAJO

Trabajo no Contributorio

Equival.	Código	Tipo de trabajo
A	EM	Espera por material
B	PFM	Parada por falla mecánica
C	SB	Stand by (en espera)
D	ECA	Espera de cisterna de agua
E	EPC	Espera por personal de calidad
F	EPC	Espera por personal de topografía

Trabajo Contributorio

Equival.	Código	Tipo de trabajo
K	CH	Charla de seguridad y llenado de AST
L	RA	Recarga y ajuste de equipos a usar
M	EM	Encendido de motor
N	IN	Indicaciones
Ñ	MT	Mediciones topográficas
O	CCIF	Control de calidad inicial y final

Trabajo Productivo

Equival.	Código	Tipo de trabajo
R	CB	Compactación del terreno de fundación
S	CM	Colocación de material in situ
T	CB	Conformación de la base (roca-over)
U	CBA	Compactación de la base
V	CBC	Conformación y batido del cuerpo del mejoramiento (mat. Integral)
W	NC	Nivelado del cuerpo (corte y relleno compensado)

G	EPS	Espera por personal de supervisión
H	RET	Retrabajos

P	TLC	Trazo de líneas y correcciones
Q	ER	Elaborar reportes de campo

X	CC	Compactación del cuerpo
Y	RC	Refinado del cuerpo
A4	ECR	Escarificado de capa con repper

ANEXO G: Resumen de carta balance capa cuerpo – rodillo vibratorio

NOMBRE DE PROYECTO:	Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera: Huancavelica – Lircay		
ACTIVIDAD:	Mejoramiento de Suelo a Nivel Subrasante		
CAPA:	Cuerpo	TRAMO:	KM 50+980 - 50+900
RESPONSABLE:	Martínez	DIA:	Sábado 29/08/2015
DATOS DE CAMPO			

TIEMPO MIN		DESCRIPCION DE TIPO DE TRABAJO			
INICIO	FIN	RODILLO			COMENTARIOS
07:01	07:16	K			
07:16	07:26	M			
07:26	07:53	F			
07:53	08:04	Ñ			
08:04	08:19	R			
08:19	08:29	O			
08:29	12:00	C			
12:00	13:00	REFRIGERIO			
13:00	15:11	C			
15:11	15:29	D			
15:29	15:33	N			
15:33	16:03	X			
16:03	16:13	O			
16:13	17:06	C			
17:06	17:09	N			
17:09	17:18	X			
17:18	17:23	I			
17:23	17:40	X			
17:40	17:49	O			
17:49	18:00	Q			

TIPOS DE TRABAJO

Trabajo no Contributorio

Equival.	Código	Tipo de trabajo
A	EM	Espera por material
B	PFM	Parada por falla mecánica
C	SB	Stand by (en espera)
D	ECA	Espera de cisterna de agua
E	EPC	Espera por personal de calidad
F	EPC	Espera por personal de topografía
G	EPS	Espera por personal de supervisión

Trabajo Contributorio

Equival.	Código	Tipo de trabajo
K	CH	Charla de seguridad y llenado de AST
L	RA	Recarga y ajuste de equipos a usar
M	EM	Encendido de motor
N	IN	Indicaciones
Ñ	MT	Mediciones topográficas
O	CCIF	Control de calidad inicial y final
P	TLC	Trazo de líneas y correcciones

Trabajo Productivo

Equival.	Código	Tipo de trabajo
R	CB	Compactación del terreno de fundación
S	CM	Colocación de material in situ
T	CB	Conformación de la base (roca-over)
U	CBA	Compactación de la base
V	CBC	Conformación y batido del cuerpo del mejoramiento (mat. Integral)
W	NC	Nivelado del cuerpo (corte y relleno compensado)
X	CC	Compactación del cuerpo

H	RET	Retrabajos
----------	-----	------------

Q	ER	Elaborar reportes de campo
----------	----	----------------------------

Y	RC	Refinado del cuerpo
A4	ECR	Escarificado de capa con repper

ANEXO H: Resumen de carta balance capa corona - motoniveladora

NOMBRE DE PROYECTO:	Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera: Huancavelica – Lircay		
ACTIVIDAD:	Mejoramiento de Suelo a Nivel Subrasante		
CAPA:	Corona 1ra capa	TRAMO:	KM 57+800 - 58+000
RESPONSABLE:	Rubén Jara	DIA:	Sábado 05/09/2015
DATOS DE CAMPO			

TIEMPO MIN		DESCRIPCION DE TIPO DE TRABAJO			
INICIO	FIN	MOTONIVELADORA			COMENTARIOS
07:01	07:16	K			
07:16	07:26	M			
07:26	07:31	P			
07:31	07:36	I			
07:36	08:20	Z			
08:20	08:25	I			
08:25	09:04	D			
09:04	09:41	F			
09:41	10:20	Ñ			
10:20	10:23	P			
10:23	10:28	N			
10:28	11:18	A1			
11:18	11:28	O			
11:28	12:00	C			
12:00	13:00	REFRIGERIO			
13:00	14:38	C			
14:38	15:28	A3			
15:28	17:04	C			
17:04	17:45	O			
17:45	18:00	Q			

TIPOS DE TRABAJO

Trabajo no Contributorio		
Equival.	Código	Tipo de trabajo
A	EM	Espera por material
B	PFM	Parada por falla mecánica
C	SB	Stand by (en espera)

Trabajo Contributorio		
Equival.	Código	Tipo de trabajo
K	CH	Charla de seguridad y llenado de AST
L	RA	Recarga y ajuste de equipos a usar
M	EM	Encendido de motor

Trabajo Productivo		
Equival.	Código	Tipo de trabajo
Z	CBCO	Conformación y batido de la corona (mat. zarandeado)
A1	NCO	Nivelado de la corona (corte y relleno compensado)
A2	CCO	Compactación de la corona

D	ECA	Espera de cisterna de agua	N	IN	Indicaciones	A3	RCO	Refinado de la corona (mat. zarandeado)
E	EPC	Espera por personal de calidad	Ñ	MT	Mediciones topográficas	A4	ECR	Escarificado de capa con repper
F	EPC	Espera por personal de topografía	O	CCIF	Control de calidad inicial y final			
G	EPS	Espera por personal de supervisión	P	TLC	Trazo de líneas y correcciones			
H	RET	Retrabajos	Q	ER	Elaborar reportes de campo			

ANEXO I: Resumen de carta balance capa corona – rodillo vibratorio

NOMBRE DE PROYECTO:	Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera: Huancavelica – Lircay		
ACTIVIDAD:	Mejoramiento de Suelo a Nivel Subrasante		
CAPA:	Corona 1ra capa	TRAMO:	KM 57+800 - 58+000
RESPONSABLE:	Rubén Jara	DIA:	Sábado 05/09/2015
DATOS DE CAMPO			

TIEMPO MIN		DESCRIPCION DE TIPO DE TRABAJO			
INICIO	FIN	RODILLO			COMENTARIOS
07:01	07:16	K			
07:16	07:26	M			
07:26	11:28	C			
11:28	11:34	N			
11:34	12:00	D			
12:00	13:00	REFRIGERIO			
13:00	13:03	N			
13:03	13:51	A2			
13:51	14:18	F			
14:18	14:38	Ñ			
14:38	15:28	C			
15:28	15:54	B			
15:54	16:09	L			
16:09	16:12	N			
16:12	17:04	A2			
17:04	17:45	O			
17:45	18:00	Q			

TIPOS DE TRABAJO

Trabajo no Contributorio			Trabajo Contributorio			Trabajo Productivo		
Equival.	Código	Tipo de trabajo	Equival.	Código	Tipo de trabajo	Equival.	Código	Tipo de trabajo
A	EM	Espera por material	K	CH	Charla de seguridad y llenado de AST	Z	CBCO	Conformación y batido de la corona (mat. zarandeado)
B	PFM	Parada por falla mecánica	L	RA	Recarga y ajuste de equipos a usar	A1	NCO	Nivelado de la corona (corte y relleno compensado)
C	SB	Stand by (en espera)	M	EM	Encendido de motor	A2	CCO	Compactación de la corona
D	ECA	Espera de cisterna de agua	N	IN	Indicaciones	A3	RCO	Refinado de la corona (mat. zarandeado)
E	EPC	Espera por personal de calidad	Ñ	MT	Mediciones topográficas	A4	ECR	Escarificado de capa con repper
F	EPC	Espera por personal de topografía	O	CCIF	Control de calidad inicial y final			
G	EPS	Espera por personal de supervisión	P	TLC	Trazo de líneas y correcciones			

ANEXO J: Avance diario de la capa base - cuerpo

MEJORAMIENTO DE SUELO A NIVEL SUBRASANTE DEL MES DE SETIEMBRE																														
CAPA: BASE – CUERPO																														
Fecha	26-ago	27-ago	28-ago	29-ago	30-ago	31-ago	01-sep	02-sep	03-sep	04-sep	05-sep	06-sep	07-sep	08-sep	09-sep	10-sep	11-sep	12-sep	13-sep	14-sep	15-sep	16-sep	17-sep	18-sep	19-sep	20-sep	21-sep	22-sep	23-sep	24-sep
Carril (Lado)	Izquierdo	Derecho																												
Ejecutado (ml)	190	190	190	220	200	170	210	180	190	220	240	80	210	210	210	180	120	210	180	240	220	170	210	180	210	210	190	220	200	200
Acumulado (ml)	190	380	570	790	990	1160	1370	1550	1740	1960	2200	2280	2490	2700	2910	3090	3210	3420	3600	3840	4060	4230	4440	4620	4830	5040	5230	5450	5650	5850

ANEXO K: Avance diario de liberaciones de la capa base - cuerpo

MEJORAMIENTO DE SUELO A NIVEL SUBRASANTE DEL MES DE SETIEMBRE																														
CAPA: BASE – CUERPO																														
Fecha	26-ago	27-ago	28-ago	29-ago	30-ago	31-ago	01-sep	02-sep	03-sep	04-sep	05-sep	06-sep	07-sep	08-sep	09-sep	10-sep	11-sep	12-sep	13-sep	14-sep	15-sep	16-sep	17-sep	18-sep	19-sep	20-sep	21-sep	22-sep	23-sep	24-sep
Carril (Lado)	Izquierdo	Derecho																												
Ejecutado (ml)	190	70	310	220	200	170	140	250	190	0	200	80	210	70	350	60	240	210	180	110	220	170	0	390	210	210	190	0	300	200
Acumulado (ml)	190	260	570	790	990	1160	1300	1550	1740	1740	1940	2020	2230	2300	2650	2710	2950	3160	3340	3450	3670	3840	3840	4230	4440	4650	4840	4840	5140	5340

ANEXO L: Avance diario de la capa corona

MEJORAMIENTO DE SUELO A NIVEL SUBRASANTE DEL MES DE SETIEMBRE																														
CAPA: CORONA																														
Fecha	26-ago	27-ago	28-ago	29-ago	30-ago	31-ago	01-sep	02-sep	03-sep	04-sep	05-sep	06-sep	07-sep	08-sep	09-sep	10-sep	11-sep	12-sep	13-sep	14-sep	15-sep	16-sep	17-sep	18-sep	19-sep	20-sep	21-sep	22-sep	23-sep	24-sep
Carril (Lado)	Plataforma Completa																													
Ejecutado (ml)	380	400	200	400	380	360	360	200	400	200	420	360	380	390	420	440	420	400	380	300	380	220	360	380	220	380	360	400	310	340

Acumulado (ml)	380	780	980	1380	1760	2120	2480	2680	3080	3280	3700	4060	4440	4830	5250	5690	6110	6510	6890	7190	7570	7790	8150	8530	8750	9130	9490	9890	10200	10540
---------------------------	-----	-----	-----	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	-------	-------

ANEXO M: Avance diario de liberaciones de la capa corona

MEJORAMIENTO DE SUELO A NIVEL SUBRASANTE DEL MES DE SETIEMBRE																														
CAPA: CORONA																														
Fecha	26-ago	27-ago	28-ago	29-ago	30-ago	31-ago	01-sep	02-sep	03-sep	04-sep	05-sep	06-sep	07-sep	08-sep	09-sep	10-sep	11-sep	12-sep	13-sep	14-sep	15-sep	16-sep	17-sep	18-sep	19-sep	20-sep	21-sep	22-sep	23-sep	24-sep
Carril (Lado)	Plataforma Completa																													
Ejecutado (ml)	380	200	250	300	440	300	380	280	0	0	500	400	200	480	420	320	300	250	380	350	380	600	400	380	300	400	500	350	400	700
Acumulado (ml)	380	580	830	1130	1570	1870	2250	2530	2530	2530	3030	3430	3630	4110	4530	4850	5150	5400	5780	6130	6510	7110	7510	7890	8190	8590	9090	9440	9840	10540

ANEXO N: Formato de cursograma analíticos

Equipo Empleado :	Turno :
Capa :	Fecha :
Tramo :	

N°	DESCRIPCIÓN	Distancia (m)	Tiempo (min)	Actividad				
								
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
11								
12								
13								
14								
TOTAL								

Actividad	Total
Operación 	
Inspección 	
Espera 	
Transporte 	
Almacenamiento 	

Distancia (m)	
Tiempo (min)	

ANEXO Ñ: Formato de Pull Schedule

Fecha de culminación	27-ago	28-ago	29-ago	30-ago	31-ago	01-sep	02-sep	03-sep	04-sep	05-sep	06-sep	07-sep
Requerimientos	[Light Blue]	[White]	[Light Orange]	[Light Green]	[Light Red]	[White]	[White]	[White]	[White]	[White]	[White]	[Light Green]
Responsables	[Light Blue]	[White]	[Light Orange]	[Light Green]	[Light Red]	[White]	[White]	[White]	[White]	[White]	[White]	[Light Green]