

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TÍTULO:

**ANÁLISIS DE PRODUCTIVIDAD DE MANO DE OBRA Y
EQUIPOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE UN PAD DE LIXIVIACIÓN
PAD LA QUINUA 8A MINERA YANACocha CAJAMARCA**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL:

ASESOR:

ING. MARCO W. HOYOS SAUCEDO

AUTOR:

BACH. ANGEL OMAR MIRANDA SANGAY

DEDICATORIA

A Dios, mi guía y fortaleza,

A mis queridos padres, Marleny y Luis, mi ejemplo de esfuerzo y amor, porque desde antes que empiece a caminar soñaban con este día, me contagiaron sus sueños y me motivaron con su ejemplo, supieron luchar ardua y silenciosamente para vivir este día conmigo.

A mi hermano Miguel, mi amigo y compañero de infancia,

A Maria del Carmen, mi amor, mi cómplice y todo,

A mi hija, mi luz, mi alegría.

Gracias.

INDICE

DEDICATORIA.....	ii
INDICE.....	iii
INDICE DE TABLA.....	iv
INDICE DE FIGURAS.....	v
RESUMEN.....	vi
ABSTRACT.....	vii
INTRODUCCIÓN.....	viii
CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO	1
1.1 ANTECEDENTES.....	2
1.2 BASES TEÓRICAS.....	9
CAPÍTULO II. DESCRIPCIÓN DE LA OBRA Y METODOLOGÍA.....	36
2.1 DESCRIPCIÓN DE LA OBRA	37
2.2 METODOLOGÍA.....	40
CAPÍTULO III. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	52
CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	67
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	69
ANEXOS.....	70

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Comparación de Distribución del trabajo internacionalmente.....	2
Tabla 2. Promedios Nacionales Globales de Productividad.....	2
Tabla 3. Resultados generales de mediciones de ocupación del tiempo de 50 obras en Lima	5
Tabla 4. Reporte de Avance Semanal.....	44
Tabla 5. Reporte de Consumo de Horas Hombre	45
Tabla 6. Reporte de Consumo de Horas Máquina.....	46

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Distribución de los tipos de trabajo en Construcción.....	3
Figura 2. Diagrama causa y efecto para el problema de baja productividad.....	3
Figura 3. Diagrama causa y efecto para alternativas de mejoramiento de la productividad	4
Figura 4. Resultados generales de mediciones de ocupación de 50 obras en Lima.....	5
Figura 5. Variabilidad del trabajo productivo.....	6
Figura 6. Variabilidad del trabajo contributorio.....	6
Figura 7. Variabilidad del trabajo no Contributorio.....	7
Figura 8. Relación entre la eficiencia, efectividad y productividad	9
Figura 9. Proceso de transformación asociado a la productividad.....	9
Figura 10. Factores que inciden sobre la productividad.....	14
Figura 11. Ciclo del mejoramiento de la productividad.....	17
Figura 12. Modelo de conversión usado en el siglo XIX.....	19
Figura 13. Nuevo modelo de producción	20
Figura 14. Cuadro comparativo de modelos de producción.....	21
Figura 15. Relación entre cronograma y Look Ahead de Producción	23
Figura 16. Relación entre Look Ahead de Producción y análisis de restricciones.....	24
Figura 17. Obtención del plan semanal.....	25
Figura 18. Interrelación de las reuniones de programación	27
Figura 19. Configuración final de la Plataforma de Lixiviación La Quinua Etapa 8A.....	37
Figura 20. IP de mano de obra.....	47
Figura 21. Conversión de las HM en dinero.....	48
Figura 22. IP de Equipos.....	49
Figura 23. Evolución de Productividad en 14 meses.....	52
Figura 24. Evolución de la Eficiencia de Utilización de Equipos para 55 semanas.....	53
Figura 25. Gráficos comparativos de productividad de equipos.....	54
Figura 26. Evolución de Productividad en 14 meses.....	55
Figura 27. Evolución de la Eficiencia de Utilización de Mano de Obra para 55 semanas.....	56
Figura 28. Gráficos comparativos de productividad de mano de obra.....	57
Figura 29. Evolución de PPC en 7 meses.....	58
Figura 30 y 31. Causas de No Cumplimiento.....	60
Figura 32. Eficiencia de Equipos –PPC.....	60
Figura 33. Eficiencia de Mano de Obra – PPC.....	62
Figura 34. Productividad de Equipos –PPC.....	63
Figura 35. Productividad de Mano de Obra – PPC.....	64

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue analizar la productividad de la mano de obra y equipos a partir de la aplicación de herramientas basadas en la filosofía Lean Construction, con la cual se pretende mejorar el desempeño aumentando la competitividad de la empresa. El método se desarrolló para las actividades representativas del proyecto de construcción de la expansión de la plataforma de Lixiviación La Quinoa 8A en las instalaciones de Minera Yanacocha en Cajamarca. El análisis se realizó en las actividades de movimiento de tierras de excavación, carguío y transporte de material. Se analizó los flujos y procesos de producción, enfocándose en la productividad de los equipos y mano de obra con el fin de aumentar la eficiencia en la ejecución de las actividades y a su vez encontrar actividades que no aportan valor con el fin de reducirlos o eliminarlos.

La aplicación de herramientas de gestión Lean Construction ha permitido analizar y mejorar las operaciones que conforman los procesos y flujos de trabajo, utilizando mejores métodos de planificación y control, plasmados en herramientas útiles y adecuadas para la óptima ejecución del proyecto.

El resultado obtenido confirmó el aumento de la productividad y la fiabilidad de la planificación. Se logró procesos más eficientes y ahorros de costos para el proyecto obteniendo mayor rentabilidad y una valiosa satisfacción del cliente.

Finalmente destacamos que en la elaboración de la presente tesis, se utilizaron diversos conceptos y formatos que tienen la finalidad de ampliar el conocimiento en cuanto al análisis de productividad de un proyecto y así también esto puede ser punto de partida para la implementación del sistema Lean Construction en el entorno local.

PALABRAS CLAVE: Productividad, eficiencia, eficacia, Lean Construction.

ABSTRACT

The aim of this research was to analyse the productivity of both labor force and equipment from the perspective of the application of tools based on the Lean Construction philosophy, with which it is hoped to improve performance by increasing the company's competitiveness.

The method was developed for the activities representative of the project dedicated to the construction of the extension of the La Quinoa 8A leach pad, situated within the Yanacocha mine facility in Cajamarca. The analysis was carried out within the context of excavation earthwork activities and the loading and transportation of material. Production flows and processes were analysed, focusing on the productivity of equipment and the labor force, with the aim of increasing efficiency in the execution of activities, and at the same time identifying activities which do not contribute value, with a view to reducing or eliminating them.

The application of Lean Construction management tools made possible the analysis and improvement of operations which make up the work processes and workflows, using better methods of planning and control, embodied in useful and appropriate tools for the optimum execution of the project.

The result obtained confirmed an increase in productivity and the reliability of the planning. More efficient processes as well as cost savings were obtained for the project, meaning greater profitability and, importantly, customer satisfaction.

Finally, it should be highlighted that during the carrying out of this thesis, various concepts and formats were used, whose purpose it is to increase knowledge regarding the analysis of the productivity of a project, and consequently this can also be a starting point for the implementation of the Lean Construction system in a local context.

KEY WORDS: Productivity, efficiency, efficacy, Lean Construction.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad vivimos en un mundo altamente competitivo y globalizado, donde la productividad de las operaciones juega un rol importantísimo en cualquier proyecto, de tal manera que es necesario obtener o idear controles que nos permitan medirla en base a parámetros característicos de cada proyecto, con la finalidad de poder cumplir con los plazos ya establecidos de la obra y generar una satisfacción valiosa del cliente.

La investigación gira en torno a lo antes mencionado, y surge a raíz de la necesidad de controlar y elevar la producción de las partidas relacionadas al movimiento de tierras en base a la productividad de los equipos y mano de obra.

El objetivo principal fue analizar la productividad de la mano de obra y equipos a partir de la aplicación de algunas técnicas y herramientas “Lean Construction” y tratar de establecer un método sencillo de control y mejoramiento de la productividad, de manera que pueda ser utilizado en cualquier otro proyecto y con cualquier tipo de maquinaria, y así con este sistema identificar las causas que nos permiten que las operaciones de maquinaria y el rendimiento de los trabajadores sean óptimas, y así, una vez identificadas, tomar medidas que nos ayuden a eliminar o minimizar su incidencia en la productividad, con el fin de mejorar y elevar los rendimientos en obra.

El mejoramiento de la productividad se refleja directamente en la rentabilidad de la empresa constructora, haciéndola más competitiva frente a otras empresas. El éxito de la implementación de este método crea un precedente para su aplicación en futuros proyectos, como una herramienta sencilla para disminuir los costos de operaciones.

Buscamos analizar la productividad de las actividades más importantes del proyecto y visualizar mejor nuestras operaciones, lo cual permitirá al ingeniero detectar los errores que podamos cometer al realizar las operaciones en cuestión. Este análisis de cada fase se repite una y otra vez, por lo que la mejora es continua y en este caso se traduce en la disminución del tiempo de cada una de las fases o procesos.

Para el desarrollo de la investigación se recurrirá a bibliografía con respecto al tema, y sus resultados se obtendrán en base a experiencias y análisis de las operaciones en campo del proyecto en estudio, y con el asesoramiento de ingenieros especializados en el tema.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO



CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO

1.1 ANTECEDENTES

1.1.1 PRODUCTIVIDAD EN LA CONSTRUCCIÓN EN CHILE

Alrededor del año 1986 en Chile comenzaron a realizarse estudios acerca de este tema, uno de los cuales fue dado a conocer en una publicación llamada "Estudios de los Tiempos Improductivos en las Obras de Construcción" realizada por un grupo de ingenieros de la Universidad Católica de Chile y publicada el año 1989. Según el criterio de los autores, los trabajadores pueden realizar tres tipos de actividades: productivas, no productivas y contributorias. En el estudio se abarcó el periodo comprendido entre los años 1987 y 1989, en donde se indicaba que en las obras de la Región Metropolitana el trabajo no productivo era en promedio de un 24%. Es imposible pensar en que los trabajadores distribuirán su tiempo sólo en actividades productivas, incluso se determinó que el trabajador es más productivo si se le permite descansar alrededor de un 15% de lo que dura su jornada laboral.

Los resultados de productividad obtenidos en este trabajo también se contrastaron con datos que posee un estudio de productividad de Estados Unidos. En la siguiente tabla vemos la comparación y evaluación que ha presentado la distribución de los tipos de trabajos en obra a nivel nacional e internacional.

Tabla 1. Comparación de Distribución del trabajo internacionalmente.

TRABAJO	1989		2001
	E.E.U.U.	CHILE	CHILE
<i>Productivo</i>	60%	38%	54%
<i>Contributorio</i>	25%	38%	25%
<i>No Productivo</i>	15%	24%	21%

Fuente: Aplicación del Sistema De Planificación Last Planner, Daniela Díaz M., Santiago de Chile, 2007

A nivel global, podemos ver la evolución que ha presentado la distribución de los tiempos de trabajo en obra comparando los datos del año 2000 con los del año 1992.

Tabla 2. Promedios Nacionales Globales de Productividad.

TRABAJO	1992	2000	Evolución
<i>Productivo</i>	38%	54%	42%
<i>Contributorio</i>	36%	25%	-31%
<i>No Productivo</i>	26%	21%	-19%

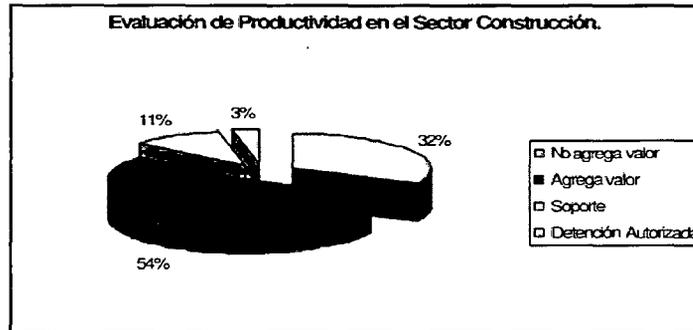
Fuente: Aplicación del Sistema De Planificación Last Planner, Daniela Díaz M., Santiago de Chile, 2007

Comparando ambos valores vemos un aumento de los porcentajes de trabajos productivos y una disminución de los contributorios y no productivos.



En Chile el tema de productividad también ha sido tratado por la Corporación de Desarrollo Tecnológico desde el año 2003. Ellos agregan un cuarto tipo de actividad: las detenciones autorizadas que son tiempos en que los trabajadores toman un descanso, desarrollan trabajos de seguridad o razones climáticas como lluvia o clima riguroso que impide el trabajo, entre otras. Los resultados de sus estudios correspondientes a una treintena de obras ejecutadas por 15 constructoras nacionales, son los siguientes:

Figura 1. Distribución de los tipos de trabajo en Construcción

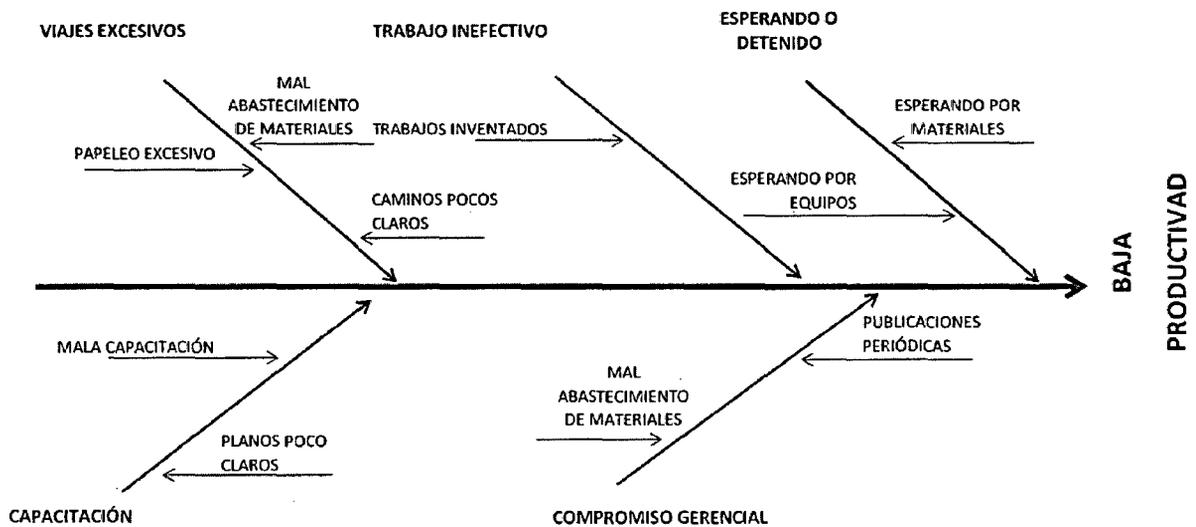


Fuente: Corporación Chilena de Desarrollo Tecnológico

En el artículo publicado en la Revista Ingeniería de Construcción, N° 10, Enero-Junio 1991, por el Ingeniero Pablo Acevedo, docente de la Pontificia Universidad Católica de Chile se intenta demostrar la utilidad de las siete herramientas de Ishikawa para el análisis y control de la productividad de actividades y operaciones de construcción.

A continuación se resume los aspectos más globales del problema de productividad en obra, del estudio en mención.

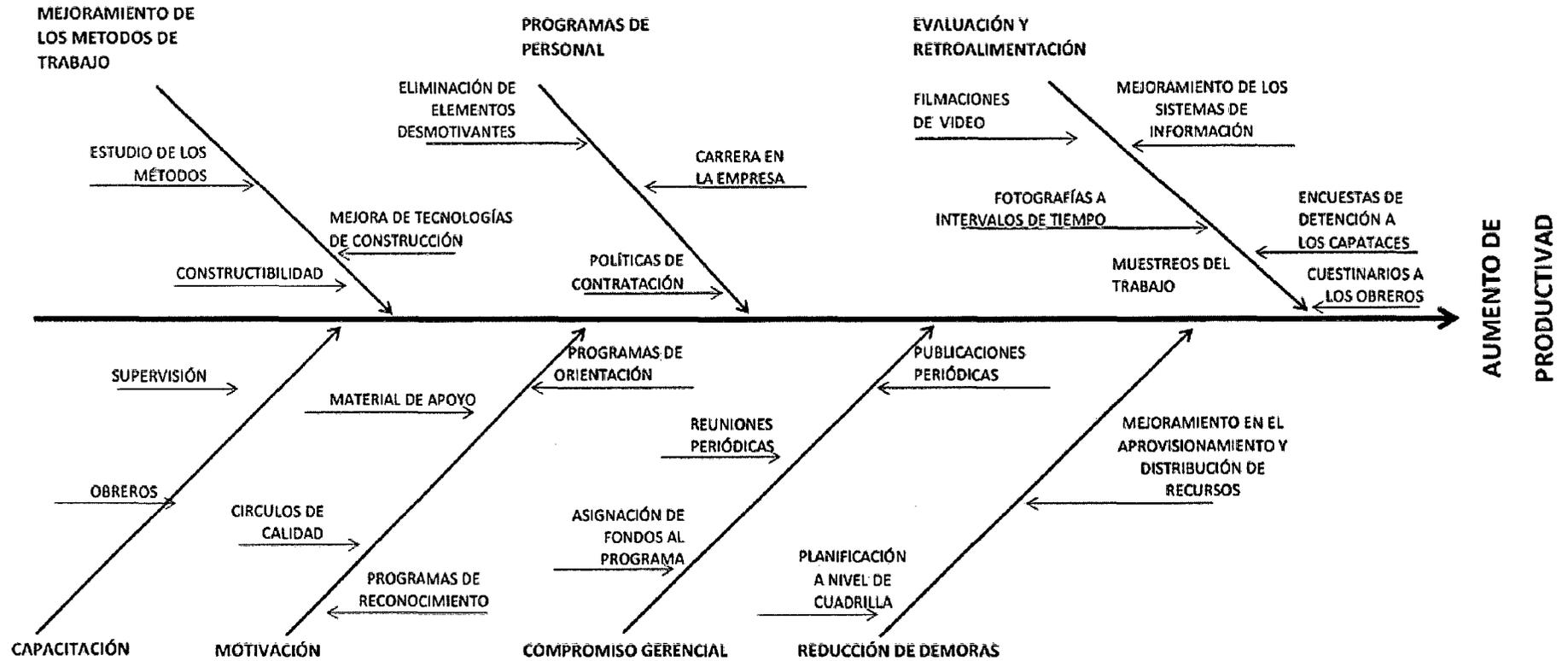
Figura 2. Diagrama de causa y efecto para el problema de baja productividad en la construcción



Fuente: Revista Ingeniería de Construcción, N° 10, Santiago, Chile.



Figura 3. Diagrama de causa y efecto para alternativas de mejoramiento de la productividad
“Pablo Acevedo: Aplicación de las herramientas de Ishikawa para el análisis de la productividad en la construcción”



Fuente: Revista Ingeniería de Construcción, N° 10, Santiago, Chile



1.1.2 PRODUCTIVIDAD EN LA CONSTRUCCIÓN PERUANA

1.1.2.1 PRODUCTIVIDAD EN OBRAS DE CONSTRUCCIÓN. DIAGNÓSTICO, CRÍTICA Y PROPUESTA, Virgilio Ghio, 2001

Los primeros estudios de Productividad en el Perú se desarrollaron en 2001, gracias al aporte del Dr. Virgilio Ghio con la publicación del libro "Productividad en obras de construcción. Diagnóstico, crítica y propuesta" y a su participación como Docente Universitario y Consultor Empresarial desde 1994, empezando así su paulatina difusión en la industria de la construcción.

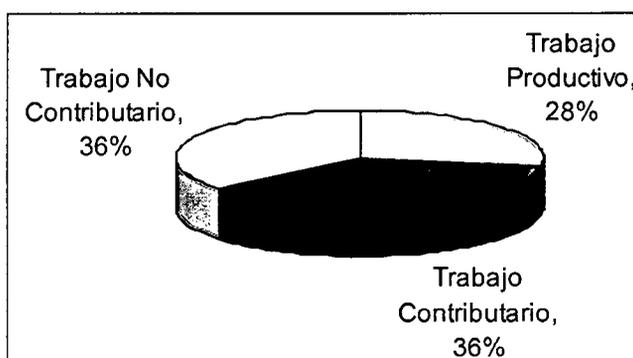
El Dr. Virgilio Ghio Castillo hizo un estudio en nuestro país analizando 50 obras en Lima. Estas obras se clasificaron por el tipo de empresa así como por el tipo y monto de la edificación. Solo se analizaron obras construidas por empresas constructoras formalmente constituidas.

Los resultados obtenidos en las 50 obras analizadas se resumen en la tabla siguiente:

Tabla 3. Resultados generales de mediciones de ocupación del tiempo de 50 obras en Lima.

	Trabajo Productivo	Trabajo Contributorio	Trabajo No Contributorio
VALORES			
PROMEDIO EN LIMA	28%	36%	36%
MÍNIMO TP	20%	35%	45%
MÁXIMO TP	37%	36%	26%

Figura 4. Resultados generales de mediciones de ocupación del tiempo de 50 obras en Lima.



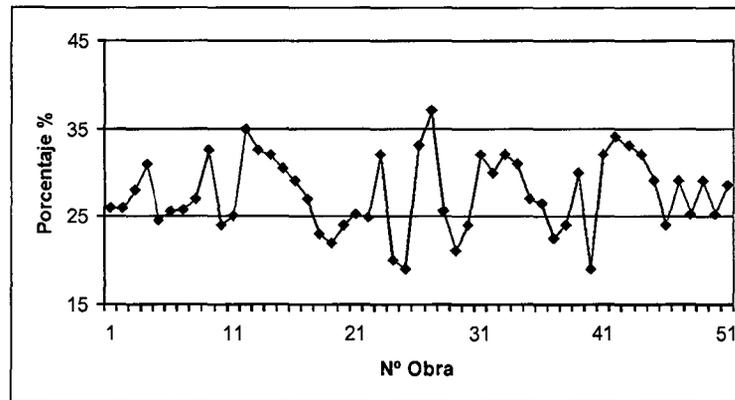
Fuente: Productividad en obras de Construcción. Diagnóstico, Crítica Y Propuesta, Virgilio Ghio, 2001



Los resultados de ocupación del tiempo en los cuales se ha detectado un trabajo productivo (TP) promedio del orden del 28% indican que del 100% del tiempo solo el 28% de la mano de obra se dedica a labores productivas.

TIEMPO PRODUCTIVO

Figura 5. Variabilidad del trabajo productivo.



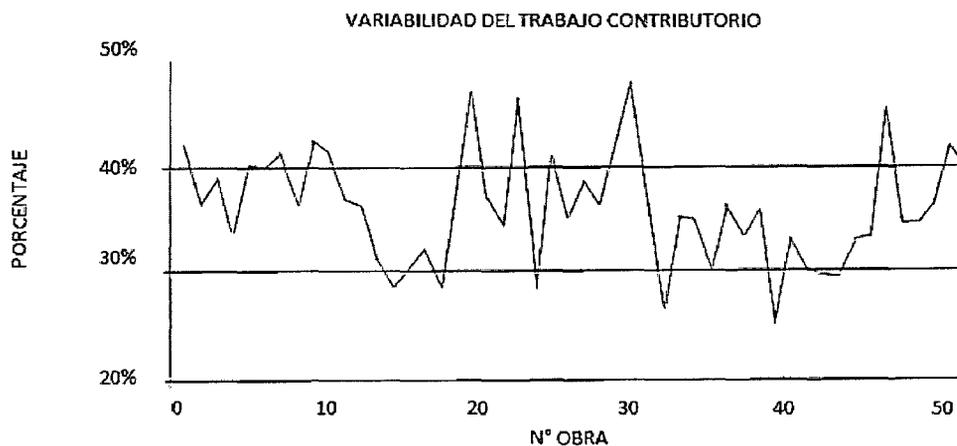
Fuente: Productividad en obras de Construcción. Diagnóstico, Crítica Y Propuesta, Virgilio Ghio, 2001

Como se puede observar en el siguiente cuadro, ninguno de los proyectos de la muestra logro el 38% de trabajo productivo obtenido como promedio en obras chilenas.

TIEMPO CONTRIBUTORIO

En los siguientes cuadros se presenta el rango de valores encontrados para cada subcategoría de trabajo Contributorio y el promedio alcanzado en la investigación; cabe señalar que los porcentajes mostrados corresponden al tiempo total de actividad.

Figura 6. Variabilidad del trabajo contributorio.



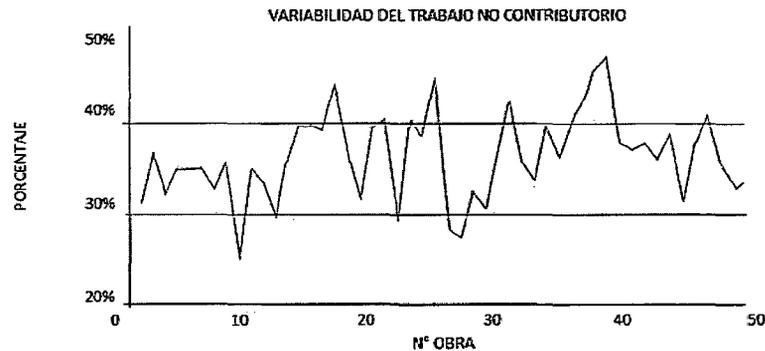
Fuente: Productividad en obras de Construcción. Diagnóstico, Crítica Y Propuesta, Virgilio Ghio, 2001



TIEMPO NO CONTRIBUTORIO

En los siguientes cuadros se presenta el rango de valores encontrados para cada subcategoría de trabajo no Contributorio y el promedio alcanzado en la investigación; cabe señalar que los porcentajes mostrados corresponden al tiempo total de actividad.

Figura 7. Variabilidad del trabajo no Contributorio



Fuente: Productividad en obras de Construcción. Diagnóstico, Crítica Y Propuesta, Virgilio Ghio, 2001

En los estudios de productividad realizados en este libro, se detectó que dentro de las principales causas de pérdida de productividad son la interrupción de la secuencia de servicio de los materiales, el congestionamiento de las áreas disponibles en obra, la aglomeración excesiva de operarios durante la ejecución de actividades y las dificultades de acceso y circulación en obra. Todas estas causas están asociadas a una gestión inadecuada de la logística y reducen la eficiencia de las empresas constructoras.



1.1.2.2 OTROS APORTES DE AUTORES EN EL PERÚ

En los últimos años, en el Perú también se han realizado algunos informes de suficiencia donde analizan la productividad mediante la Aplicación de la Construcción Sin Perdidas, las cuales se detalla a continuación:

“Mejoramiento continuo en los procesos constructivos: Estudio de la productividad basada en la recolección de datos¹” Cuyo objetivo fue aportar una metodología que permita medir los niveles de productividad en algunos procesos constructivos, en primera instancia para aplicar programas de mejoramiento de La productividad y contribuir al mejoramiento continuo de los procesos constructivos de carácter repetitivo. Sus conclusiones fueron interesantes ya que al hacerse un adecuado uso de las herramientas Lean Construction se logró mejorar la productividad. Por ejemplo: para la colocación de acero en placas su productividad ascendió de 20.83 kg/hh a 39 kg/hh, para el asentado de muros de ladrillos KK su productividad ascendió de 0.81 m² a 0.92 m²/hh; esto solo pudo ser lograda con un adecuado uso de los recursos, sumando la continuidad del personal e incentivos económicos por mejorar su producción.

“Mejoramiento de la productividad en la construcción aplicando los principios del Lean Construction²” Como su título lo dice, su objetivo fue aplicar los principios Lean Construction usando como objetivo de estudio en una edificación, dado que este trabajo es solo un informe de suficiencia no se encuentra en ella una investigación profunda por no haber realizado un muestreo significativo en campo y no haber aplicado adecuadamente los principios Lean Construction ya que sus conclusiones son básicamente observaciones de cómo se hace la toma de datos, conclusiones muy superficiales sobre el estudio del trabajo y sobre la calidad en obras de construcción.

¹ Ronald Dante Vásquez Jara, 2004, UNI.

² María del Rosario Ambrosio Tello, 2004, UNI.



1.2 BASES TEÓRICAS

1.2.1 CONCEPTOS DE PRODUCTIVIDAD EN LA CONSTRUCCIÓN

Una aproximación a la definición de productividad presenta la relación existente entre lo producido y lo gastado. De una manera mas amplia, podemos definir la productividad en la construcción como "la medición de la eficiencia con que los recursos son administrados para completar un proyecto específico, dentro de un plazo establecido y con un estándar de calidad dado" (Serpell, 1999).

El logro de la productividad involucra entonces la eficiencia y la efectividad, ya que no tiene sentido producir una cantidad de obra si ésta presenta problemas de calidad.

El objetivo de cualquier proceso productivo es lograr una alta productividad, lo que se consigue mediante la obtención de alta eficiencia y efectividad, como puede verse en la siguiente figura:

Figura 8. Relación entre la eficiencia, efectividad y productividad

UTILIZACIÓN DE LOS RECURSOS		OBTENCIÓN DE LAS METAS
Pobre	Alta	
EFFECTIVO PERO INEFICIENTE	EFFECTIVO Y EFICIENTE ÁREA DE ALTA PRODUCTIVIDAD	Alto
INEFFECTIVO E INEFICIENTE	EFICIENTE PERO INEFFECTIVO	Bajo

Fuente: Administración de Operaciones, Alfredo Serpell, 2002

La productividad está asociada a un proceso de transformación, tal como se indica en la figura siguiente. Como en todo proceso, ingresan recursos necesarios para producir un bien o un servicio, y posteriormente, a través del proceso, se obtiene un producto o un servicio. En la construcción, los principales recursos utilizados en los proyectos son los siguientes:

Figura 9. Proceso de transformación asociado a la productividad



Fuente: Administración de Operaciones, Alfredo Serpell, 2002



Se puede hablar entonces de diferentes clases de productividad en la construcción, de acuerdo con los recursos considerados:

- **Productividad de los materiales**, por su costo es importante evitar los desperdicios.
- **Productividad de la mano de obra**, factor fundamental ya que normalmente es el recurso que fija el ritmo de trabajo de la construcción, del cual depende la productividad de otros recursos.
- **Productividad de la maquinaria**, muy importante por el alto costo que representa, por lo tanto es necesario racionalizar su uso en los proyectos, evitando tiempos muertos.

Existe gran cantidad de factores que afectan de diferentes formas la productividad en los proyectos de construcción. El profesional encargado de la administración de la obra, debe conocer cuáles de ellos son positivos y cuales negativos, para actuar sobre los últimos y disminuir o eliminar su efecto.

1.2.2 PRODUCTIVIDAD DE LA MANO DE OBRA

Martínez, Verbal y Serpell efectuaron un estudio en el cual analizaron los problemas de productividad en la mano de obra, el estudio se llevó a cabo en una serie de proyectos de construcción. Para las diferentes categorías se proponen y estudian diferentes causas.³

a) Viajes excesivos:

Causas:

- Mal diseño de las instalaciones de faena. Esta situación es muy seria cuando la topografía del terreno es complicada o cuando el espacio disponible es pequeño, pues produce dificultades de acceso, fallas en la seguridad o distancias muy largas para el transporte. Todo lo anterior implica viajes excesivos y por lo tanto, tiempo improductivo.
- Problemas de aprovisionamiento de materiales. Esto sucede principalmente por tres razones: el funcionamiento de la bodega, los medios disponibles para los capataces para transportar los pedidos y la administración de los sistemas de distribución. Todo lo anterior significa que los maestros dedican gran parte de su tiempo a la labor contributiva del transporte y no a lo netamente productivo.
- Rutas poco claras. Se persigue enfrentar el problema que significa que el trazado de las rutas en las obras se modifique constantemente producto del avance que esta tiene. Como consecuencia se pierde tiempo buscando la nueva ruta de tránsito, lo que puede solucionarse con una mejor señalización, que cambie junto con el avance.

³Luis Felipe Martínez C., Rodrigo Verbal R., Alfredo Serpell, 1990, Recomendaciones para aumentar la productividad en la construcción Martínez.



- Instrucciones poco claras. Este problema, presente en todos los niveles de la organización, provoca viajes extras para aclarar las instrucciones. La solución pasa por mejorar el sistema de comunicación, mediante el aseguramiento de que la persona comprendió correctamente la instrucción.

b) Esperas y detenciones:

Causas:

- Planificación a corto plazo inexistente. La carencia de un plan diario de trabajo provoca detenciones debidas a la falta de materiales, al desconocimiento de la labor que debe realizarse, cambios imprevistos en la zona de trabajo, etc.
- Métodos de trabajo inadecuados. El procedimiento de trabajo, o una cuadrilla de trabajo desbalanceada provocan una gran cantidad de tiempos muertos. La solución pasa por una planificación adecuada de las operaciones que se desarrollan. Se pone especial énfasis en las operaciones más relevantes, mediante el estudio de rendimientos y muestreo del trabajo que identifiquen a tiempo posibles ineficiencias.
- Accidentes. Los accidentes son una fuente importante de demoras. E Los cuales se deben en un 80% a acciones inseguras y en un 20% a condiciones inseguras.
- Conflictos laborales. Un mal manejo de las relaciones laborales provoca paros. Se requiere que los profesionales a cargo de las obras estén capacitados en el manejo de conflictos, negociaciones y legislación laboral. También es importante conocer continuamente el grado de satisfacción que tiene el personal con su trabajo.
- Chequeo deficiente del trabajo previo. La correcta ejecución de cada labor, en calidad y plazo, depende estrechamente de la calidad del trabajo previo. Para evitar demoras por reparaciones en las operaciones previas se recomienda usar un sistema de chequeo a la entrega de la actividad previa.
- Coordinación entre cuadrillas. Con el ingreso de subcontratistas en la etapa de terminaciones, este problema se agrava. El autor propone implantar planes de corto plazo, pero también planificar las labores de terminaciones e instalaciones.
- Espera de equipos y materiales. Por ejemplo, en el caso de una grúa torre. Una planificación a corto plazo de los transportes que esta máquina debe realizar, permite utilizar con mayor eficiencia el tiempo de la grúa que a veces sólo llega al 52%.
- Espera de materiales. El problema puede ser interno o externo. Si es interno, la causa puede estar en un mal sistema de aprovisionamiento. Si es externo, es poco lo que se puede hacer más allá de conocer constantemente el comportamiento del mercado para intentar prevenir problemas.
- Traslados a otras áreas de trabajo. Consiste en que el personal debe trasladarse a otros frentes de trabajo, producto de una mala planificación diaria, falta de ritmicidad en la labor y la no consideración de estos traslados en la planificación.
- Comienzos tardíos y términos tempranos. El no cumplimiento de la programación en cuanto a las fechas de inicio y término de las actividades, provoca desajustes que redundan en esperas o detenciones.



- Esperas por instrucciones. Las instrucciones deben ser consideradas como un recurso más de la cuadrilla de trabajo. Para prevenir inconvenientes.

c) Trabajos inefectivos:

Causas:

- Trabajo inventado. Es habitual que se asigne personal a labores innecesarias o que se asigne más personal del necesario. La razón se debe al intento de la administración de mantener ocupada a la mano de obra permanentemente. Lo anterior distorsiona los datos de rendimiento y oculta situaciones que provocan esperas.

d) Trabajo rehecho:

Causas:

- Cambios en los diseños y en los planos.
- Mala calidad del trabajo. Este punto tiene tres causas principales: carencia de supervisión, malas condiciones de trabajo y fatiga de los trabajadores.

e) Trabajo lento:

Causas:

- Fatiga. La fatiga física como mental influyen importantemente en el rendimiento de los obreros. La prevención de este problema pasa por evitar al máximo el uso de sobretiempo en la planificación.
- Hora del día y día de la semana. Temprano en la mañana, antes y después de almuerzo y al final de la jornada, así como los lunes y viernes, la productividad de la mano de obra se reduce considerablemente. Es necesario evitar programar actividades importantes en esos momentos.
- Conflictos laborales. Como alternativa al paro, los trabajadores pueden bajar intencionalmente su rendimiento como una forma de protesta o de presión. Las medidas a tomar son las mismas presentadas en el problema número dos.
- Equipos y herramientas obsoletas. Es necesario incorporar nueva tecnología, con los respectivos gastos en capacitación, como una forma de aumentar el rendimiento de los operarios.
- Motivación. Para mejorar la motivación del personal se deben tocar puntos como la comunicación, pagos de tratos como incentivo económico y la relación del obrero con su jefe directo.



1.2.3 PRODUCTIVIDAD DE EQUIPOS

Para los equipos; al igual que el análisis llevado a cabo en mano de obra, únicamente añadiremos dos problemas de productividad que se generan, y son los siguientes:

a) Mala utilización de Recursos

Causas:

- Desconocimiento técnico. La capacitación de obreros y capataces es una manera poco costosa de alcanzar beneficios producto de un mejor uso de los materiales, las herramientas y los equipos.
- Mala planificación del uso de recursos. La carencia de planes de abastecimiento de corto plazo implica que los materiales lleguen tarde y en cantidad y calidad insuficiente. Es necesario poner especial énfasis en lo oportuno de los pedidos.

b) Desconocimiento del uso de Recursos

Causas:

- Sistemas inadecuados de control de recursos. La mayoría de los sistemas de control adecuados para los materiales y el equipo implementados en obra son poco eficientes. La solución pasa por hacer seguimiento a las principales partidas y usar programas computacionales especializados en la administración de materiales.

1.2.4 FACTORES QUE AFECTAN LA PRODUCTIVIDAD

En construcción existe una serie de factores que afectan la productividad, Serpell planteó en el año 1986, la siguiente lista con 22 de factores que él consideró más importantes (Serpell, 1986):

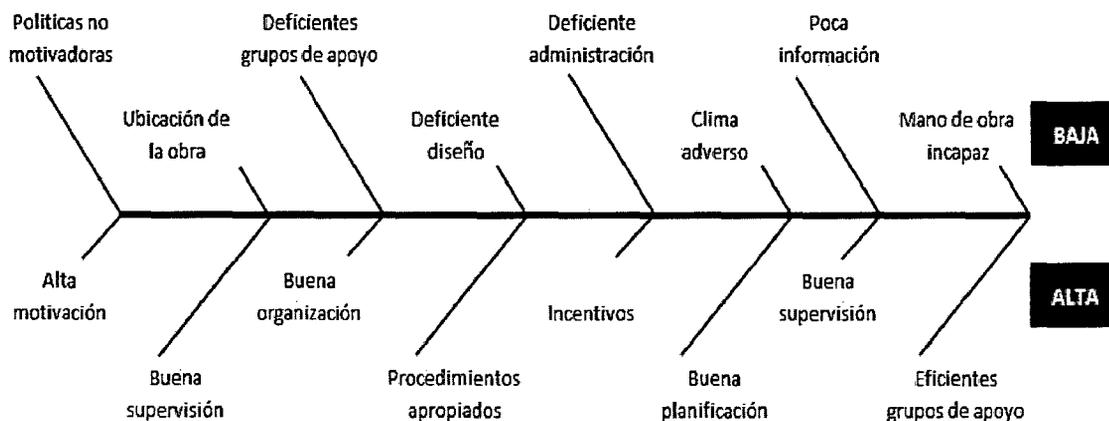
1.2.4.1 FACTORES QUE TIENEN UN EFECTO NEGATIVO SOBRE LA PRODUCTIVIDAD

- Uso de sobretiempos programados durante un largo periodo de tiempo.
- Errores y omisiones en los planos y especificaciones.
- Exceso de modificaciones del proyecto durante la ejecución de la obra.
- Diseños muy complejos y/o incompletos.
- Agrupamientos de muchos trabajadores en espacios reducidos.
- Falta de una supervisión adecuada.
- Reasignación de la mano de obra de tarea en tarea, impidiendo la especialización y el aprendizaje.
- Ubicación inapropiada de los materiales y las bodegas en general.
- Temperatura o clima adverso en la zona.
- Mala o escasa iluminación cuando se necesita.



- Niveles de agua subterránea muy superficial.
- Falta de materiales cuando se necesitan.
- Falta de equipos y herramientas cuando se necesitan.
- Materiales, equipos y herramientas inadecuados.
- Alta tasa de accidentes en la obra.
- Disponibilidad limitada de la mano de obra adecuada.
- Composición y tamaño inadecuado de las cuadrillas.
- Ineficiencia en la toma de decisiones.
- Ubicación de la obra en un lugar de difícil acceso.
- Exigencias excesivas de control de calidad.
- Interrupciones no controladas.
- Características de tamaño, ubicación y duración de la obra, poco motivadoras para el personal.

Figura 10. Factores que inciden sobre la productividad



Fuente: *Productividad en la Construcción*, Alfredo Serpell

Conocidos algunos de los factores, la labor de los responsables de la obra debe ser la de incrementar los factores positivos, disminuyendo así, los efectos negativos, identificándolos oportunamente.

Las categorías en las que estos factores afectan a la productividad son los siguientes:

- Trabajo lento: Debido a factores como la desmotivación en el grupo, falta de interés, fatiga, condiciones climáticas, etc.
- Esperas y detenciones: Debido a falta de equipos, repuestos que no se tienen en stock, atoros en la chancadora, etc.
- Trabajo inefectivo: Cambio de labores en el obrero, improvisación de trabajos no definidos con anterioridad
- Trabajo rehecho: Perforaciones mal hechas, realización de voladura secundaria.



1.2.4.2 FACTORES QUE AFECTAN POSITIVAMENTE A LA PRODUCTIVIDAD

Algunos de los factores que ayudan a mejorar la productividad son los siguientes:

- Capacitación del personal
- Seguridad en obra
- Innovación de técnicas de operación de equipos
- Planificación adecuada
- Programas de motivación del personal
- Adecuado mantenimiento de los equipos
- Diseños de vías y zonas donde el trabajo se realiza con mayor comodidad
- Mejor fragmentación de la roca volada
- Comunicación constante entre la supervisión y obreros
- Planificación adecuada del mantenimiento de los equipos
- Nivel adecuado de formación de los obreros
- Estimular un sano nivel de competencia entre los obreros
- Utilización de programas de cómputo para simular la operación y analizar los resultados
- Controlar la eficiencia en obra, realización de muestreos y sondeos.

Es importante establecer que la productividad incluye trabajos de calidad, en muchas ocasiones nos fijamos solamente en producir cada vez mas y descuidamos lo que a la calidad se refiere. La consecuencia inmediata de esto, es que se tendrá que rehacer el trabajo ocasionando pérdidas, debemos trabajar sin descuidar el tiempo, el costo y la calidad.

1.2.5 MEDICIÓN ENFOCADA A LA PRODUCTIVIDAD

El tema de productividad involucra la relación entre las variable de tiempo y de calidad de trabajo, así como también la forma de medición de estas variables. En las secciones a continuación se presentará en detalle los aspectos que involucran la medición de la productividad.

Medir adecuadamente la productividad es el medio o instrumento que permite gerenciar, dejando opiniones subjetivas solo para aquellos asuntos que no hayan desarrollado medios cuantificables para medirlos y verificarlos a través de datos.

El diccionario de la Real Academia Española (2001) define medición como “la acción y efecto de medir”, y define medir como “comparar una cantidad con su respectiva unidad, con el fin de averiguar cuántas veces la segunda está contenida en la primera.”



La importancia de medir específicamente la productividad en las actividades, aporta las siguientes ventajas:

- La medición nos permite planificar con mayor certeza y confiabilidad.
- La medición nos permite discernir con mayor precisión las oportunidades de mejora de un proceso dado.
- La medición nos permite analizar y explicar cómo han sucedido los hechos.

El proceso de medición tiene influencia sobre las actividades del proceso de mejoramiento, es decir, no se pueden hacer mejoras si no tenemos claro cómo medir lo que vamos a mejorar, esto se puede explicar con dos razones:

- Por no haber dotado al personal de habilidades para medir, establecer y calcular indicadores válidos representativos del proceso o trabajo en el cual intervienen o realizan.
- Por el mal uso de la medición en el pasado: el de buscar culpables.

Por lo cual, si estas dos debilidades no son trabajadas para ser superadas, no servirá de nada contar con una participación real y efectiva de la gerencia. Una correcta comprensión y desarrollo de la medición es fundamental para superar la "gerencia por crisis". La medición no puede entenderse solo como proceso de recoger datos, sino que debe ser entendida como parte importante del proceso de toma de decisiones.

La medición debe ser transparente y entendible para la persona encargada de realizarla.

Existen ciertos atributos que caracterizan una buena medición:

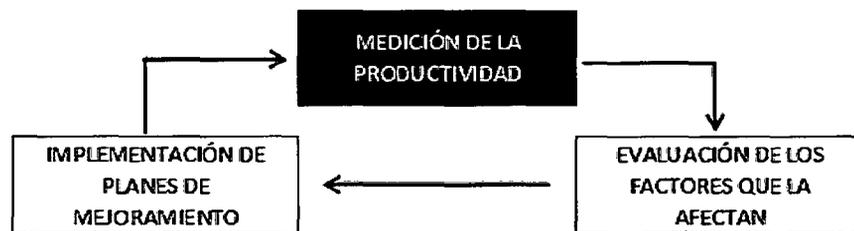
- **Pertinencia:** Las mediciones que se hagan deben ser tomadas en cuenta y tener importancia para las decisiones que se tomen con base en las mismas.
- **Precisión:** La medida obtenida refleja fielmente la magnitud del hecho que queremos analizar o constatar, lo cual involucra necesariamente realizar una buena definición operativa.
- **Oportunidad:** La necesidad de contar oportunamente con la información procesada de la manera más adecuada que nos dan las mediciones; es un requisito que deben tener en cuenta los que diseñan el sistema de medición.
- **Confiabilidad:** La medición en la empresa no es un acto que se haga una sola vez, sino más bien se hace de forma periódica, por lo cual, para estar seguros que lo que midamos sea una base adecuada es necesario que se revise también de una manera periódica todo el sistema de medición.
- **Economía:** La relación que existe entre los costos incurridos en realizar las mediciones y los beneficios que se generan al tomar decisiones basándose en los datos obtenidos.



1.2.6 MEJORAMIENTO DE LA PRODUCTIVIDAD EN LA CONSTRUCCIÓN⁴

Teniendo en cuenta los factores que inciden negativamente en la productividad, el personal responsable de la obra debe adoptar acciones correctivas adecuados a la solución de los problemas previamente analizados e identificados, como objetivo del mejoramiento de la productividad. Para realizar lo anterior, se recomienda seguir el ciclo del mejoramiento de la productividad, descrito en la siguiente figura:

Figura 11. Ciclo del mejoramiento de la productividad



Fuente: Luis Botero y Martha Álvarez, 2004, Guía de mejoramiento continuo.

Las diferentes etapas para el mejoramiento, requieren la realización de distintas actividades en el proyecto, como:

- **Medición de la productividad**, realizada mediante la toma de datos y su posterior procesamiento y análisis estadístico. Para ello se utilizan formatos diseñados para tal fin, denominados formulario de muestreo general del trabajo.
- **Evaluación de la productividad**, utilizando los datos obtenidos para diagnosticar la situación de la obra identificando los problemas. De esta forma se puede determinar el plan de acción a seguir una vez evaluadas las diferentes alternativas.
- **Implementación de planes de mejoramiento**, formulando estrategias y acciones de mejoramiento, con seguimiento permanente para evaluar la eficacia y los resultados obtenidos

El sistema implementado para la medición de la productividad tiene los siguientes objetivos:

- Evaluar de manera objetiva el desempeño del proyecto
- Referenciar el ciclo de mejoramiento para próximas etapas de construcción
- Realizar análisis de tendencias, proyectando resultados para futuras obras y terminación de la obra
- Determinar por qué una obra o actividad es más productiva que otras similares

⁴ Luis Botero y Martha Álvarez, 2004, Guía de mejoramiento continuo.



1.2.6.1 LEAN CONSTRUCTION Y EL MEJORAMIENTO DE LA PRODUCTIVIDAD

Reseña Histórica

La nueva filosofía para la construcción "Lean Construction" nace de una nueva tendencia que se dio en las industrias, y que se conoció como "Lean Production".

Para llegar a esta nueva filosofía en la producción, nos remontaremos a los inicios de los estudios para las mejoras en las empresas manufactureras y automotrices que se dieron a finales del siglo XIX e inicios del siglo XX.

La tendencia de mejora en las empresas manufactureras viene desde finales de 1890 teniendo a Frederick W. Taylor como uno de los representantes más importantes de esta época quien innovó estudiando y difundiendo la administración científica del trabajo, y funda el movimiento conocido como "Administración Científica del Trabajo" cuyo pensamiento se basa en la eliminación de las pérdidas de tiempo, de dinero, etc., mediante un método científico. Taylor afirmaba que "el principal objetivo de la administración debe ser asegurar el máximo de prosperidad, tanto para el empleador como para el empleado".

En los años 30, los encargados de dirigir la empresa automotriz Toyota implementaron una serie de innovaciones en las líneas de producción de tal forma que facilitarían tanto la continuidad en el flujo de materiales como la flexibilidad a la hora de fabricar distintos productos. Luego de la 2da Guerra Mundial la Toyota con sus ingenieros a cargo, Taiichi Ohno y Shigeo Shingo, vieron la necesidad de afianzar lo que implementaron en los años 30's, debido a la necesidad de fabricar variedad de productos pero en pequeñas cantidades, de esta manera crean los conceptos de "just in time", "waste reduction", "pull system" los que con otras técnicas de puesta en flujo, crean el Toyota Production System (TPS).

Así es como esta nueva filosofía de producción surgió en Japón por los años 50 gracias en gran medida al Ing. Taiichi Ohno. La aplicación de esta nueva filosofía se inició con la TOYOTA, en el sistema de producción de esta industria automovilística, pero hasta los años 80's la información de este nuevo pensamiento aún era limitado en el mundo occidental, a pesar de que aproximadamente en 1975 se iniciara la difusión de estas ideas en Europa y Norteamérica debido al cambio que se fue dando en las empresas automotrices.

La nueva filosofía que aparece con el Ing. Taiichi Ohno, fue denominado de muchas formas por los años 90's, como la fabricación de clase mundial, producción flexible y nuevo sistema de producción. Pero las más usadas y conocidas son la de **Lean Production** o **Toyota Production System (TPS)**.

En esa misma época en Finlandia el profesor universitario Lauri Koskela usa de modelo el Lean Production y sistematiza los conceptos del mejoramiento continuo, just in time, etc. Creando así una nueva filosofía de planificación de proyectos en la construcción, reformulando los



conceptos tradicionales de planificación y control de obras. Esto es propuesto en su tesis de doctorado "Application of the New Production Philosophy to Construction", 1992. Estudio que fue realizado durante su permanencia en CIFE (Center for Integrated Facility Engineering) y financiado por el Technical Research Centre of Finland, the Federation of the Finnish Building Industry y la fundación Wihuri.

Así es como inicia esta nueva filosofía en la construcción denominada Lean Construction, gracias a Lauri Koskela y su tesis de doctorado, que dieron el inicio para más estudios y la posterior creación del Lean Construction Institute (agosto 1997).

Nueva filosofía de producción: Lean Production

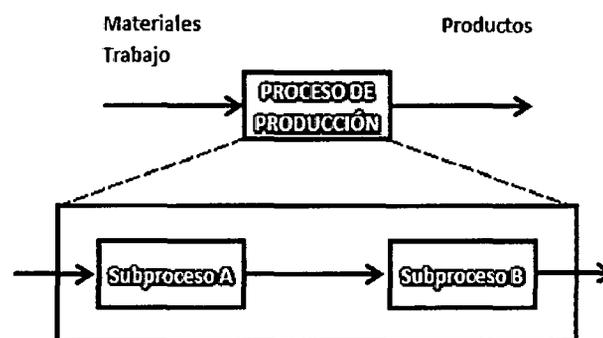
Para hablar de una nueva filosofía primero debemos conocer cuál fue la filosofía que se seguía básicamente en las empresas manufactureras en el siglo XIX, cuando las empresas se concentraban en solo un producto y no en la variedad y flexibilidad tal como lo hizo el Toyota Production System.

El modelo base para una línea de producción es el de conversión, y es este modelo el que se vino utilizando en el siglo XIX. En este modelo las características de producción fueron las siguientes:

1. El proceso de producción es la conversión de un INPUT en un OUTPUT, es decir que el material base que entra en una proceso sale de este convertido en un producto que es para venta al cliente.
2. El proceso de conversión puede ser subdividido en subprocessos, los cuales son también procesos de conversión.
3. El costo global del proceso puede ser disminuido si se minimiza el costo de cada subprocesso.
4. El valor del producto final (output) está asociado con el valor de la materia que ingresa (input) a este proceso conversión.

Gráficamente podemos visualizar el modelo de conversión con el siguiente esquema:

Figura 12. Modelo de conversión usado en el siglo XIX



Fuente: *Application of the new production philosophy to Construction, Koskela, 1992*



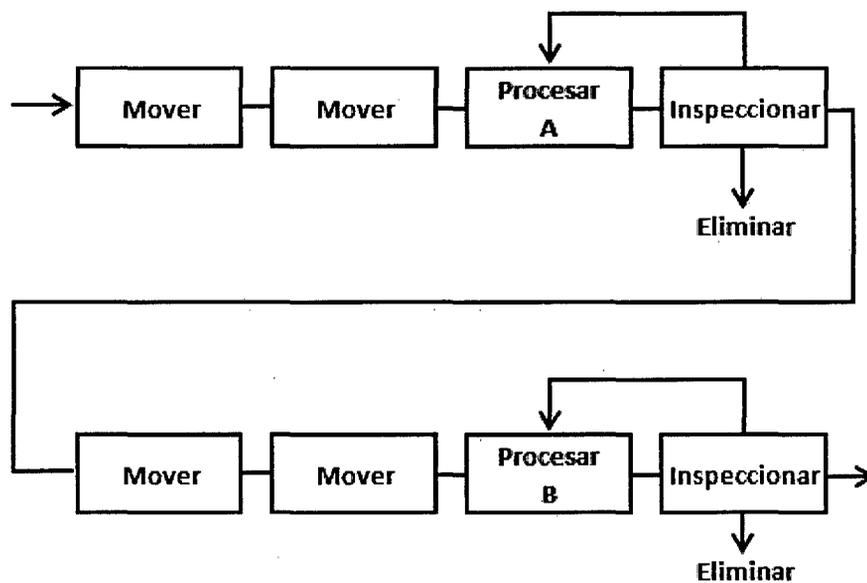
Posteriormente esta filosofía que se baso en el Toyota Production System, se empezó a corregir algunos errores y a evitar algunas fallas del modelo de conversión.

De este modo nace una nueva filosofía basada en un modelo en donde la producción es un flujo de materiales y/o informaciones desde la materia prima hasta el producto final.

Los procesos son los que representa la conversión en la producción, mientras que las inspecciones, movimientos, esperas, etc. representan el flujo.

El nuevo esquema para este modelo es el siguiente:

Figura 13. Nuevo modelo de producción



Fuente: *Application of the new production philosophy to Construction, Koskela, 1992*

Por lo tanto para obtener una mejora en la producción se debe seguir los siguientes parámetros:

- Las actividades de flujo (inspecciones, movimientos, esperas, etc.) deben ser reducidas o eliminadas.
- Las actividades de conversión deben ser realizadas más eficientemente.

Esto último se puede visualizar en un esquema comparativo de ambos modelos en la Figura 14.



Figura 14. Cuadro comparativo de modelos de producción

	MODELO CONVENCIONAL	MODELO DE LA CALIDAD	NUEVA FILOSOFÍA DE PRODUCCIÓN
	Costo total del proceso	Costo de la falta de calidad	Costo de las actividades que no aportan valor Costo de las actividades que aportan valor
Mejoramiento de la performance	Incrementar la eficiencia del proceso	Reducir el costo de la falta de calidad e incrementar la eficiencia del proceso	Reducir o eliminar las actividades que no aportan valor e incrementar la eficiencia de las actividades que aportan valor

Fuente: Application of the new production philosophy to Construction, Koskela, 1992

De esta manera para llegar a controlar los procesos en una industria, se tiene las siguientes bases de esta nueva filosofía denominada Lean Production (Max T. Rossi 2008):

1. Reducir la porción de actividades que no aportan valor. (valor: se refiere a la satisfacción de los requerimientos del cliente)
2. Incrementar el valor del output (output: es el producto final o el producto resultante entre una fase y otra dentro del flujo de producción) a través de consideraciones sistemáticas de los requerimientos del consumidor.
3. Reducir la variabilidad
4. Reducir el tiempo del ciclo (tiempo de ciclo: suma de tiempos de flujo y conversión que son necesarios para producir un lote de producción)
5. Simplificar procesos, es la reducción de los componentes (partes) o números de pasos para realizar un producto. Simplificar los procesos es mejorar el flujo.
6. Incrementar la flexibilidad del output.
7. Incrementar la transparencia del proceso. Procesos más simples son más simples son más transparentes, lo cual facilita el control y el mejoramiento.
8. Enfocar el control en la totalidad del proceso.
9. Aplicar un mejoramiento continuo en el proceso.(principio basado en el "Kaisen")
10. Balancear el mejoramiento del flujo con el mejoramiento de la conversión
11. Benchmarking



Por todo lo expuesto esta nueva filosofía lleva el nombre de Lean que quiere decir o dar a entender: esbeltez, flexibilidad. Es decir una producción esbelta, que se enfoca en crear actividades de valor agregado para el cliente, la identificación y eliminación del desperdicio o waste (en inglés) y la mejora continua para aumentar la productividad.

Lean Construction

Esta nueva filosofía es respuesta ante la necesidad de suplir las carencias que se tienen en la construcción en cuanto a productividad, seguridad y calidad. Esto debido a que si comparamos la productividad de la construcción con la de una industria, la diferencia es notable ya que la última es superior porque los procesos que se manejan en las industrias son optimizados mientras que en la construcción poco o nada se analiza para ser optimizado. En cuanto a la seguridad en la construcción, es conocido que es muy baja ya que generalmente no se considera como un punto importante al ejecutar en muchas de las obras que se ve a diario, por el simple hecho que se cree que se está generando mayores gastos y uso de recursos en cuanto a los implementos y sistemas de seguridad. Y finalmente respecto a la calidad, obviamente que se podría mejorar mucho más de lo que se hace hoy en día, sobretodo porque aparecen nuevas exigencias que se tienen que cumplir con un buen estándar de calidad. La teoría de Lean Construction ayuda a mejorar el flujo de trabajo, reduciendo la variabilidad y la dependencia entre actividades.

1.2.6.2 HERRAMIENTAS DE PROGRAMACIÓN ⁵

a) LOOK AHEAD DE PRODUCCIÓN

Es un cronograma de ejecución a mediano plazo, que cubre el horizonte de tiempo más conveniente para el Proyecto, el cual suele ser de 3 a 6 semanas. Este horizonte se define en función de las características de cada Proyecto (duración, ubicación, Plazo de Abastecimiento, etc.). En general, la duración mínima del horizonte dependerá del Plazo de Abastecimiento y la duración máxima de la variabilidad que pueda afectar el Planeamiento del Proyecto, tal como cambios de ingeniería, plazos de llegada de suministros permanentes, etc.

Requisitos:

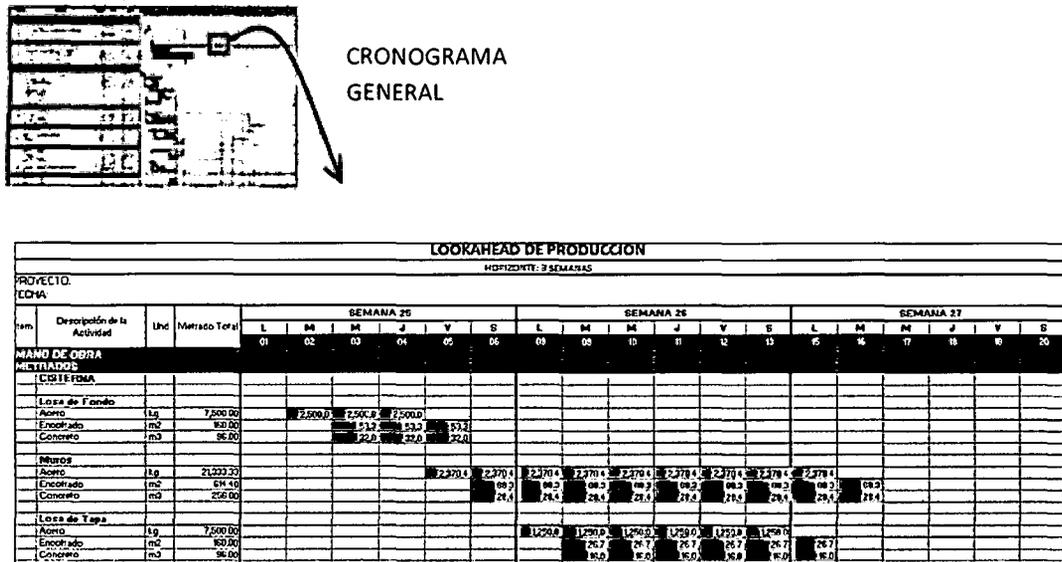
- Debe partir del Cronograma General actualizado.
- Debe ser elaborado con la participación del ejecutor.
- Debe tener una ventana de tiempo apropiada para el Proyecto.
- Debe actualizarse al menos semanalmente.

⁵ GyM, 2008, Manual de Gestión de Proyectos de Construcción, Lima.



Las actividades del Look Ahead deben desprenderse del Cronograma General de ejecución del Proyecto actualizado y luego deben ser explotadas a un mayor nivel de detalle si fuera necesario. Esto se muestra en la figura 15.

Figura 15. Relación entre cronograma y Look Ahead de Producción.



Fuente: GyM, 2008, Manual de Gestión de Proyectos de Construcción

b) ANÁLISIS DE RESTRICCIONES

El Análisis de Restricciones consiste en analizar todas las actividades del Look Ahead de Producción, del horizonte determinado, e identificar los posibles obstáculos o limitaciones que pudieran hacer que las actividades consideradas en el mismo, no puedan ser programadas en su oportunidad. Tiene por finalidad identificar y proveer con adecuada anticipación de todo aquello que falta para poder ejecutar una tarea. Esto es mostrado en la figura 16.

Requisitos:

- Debe partir del análisis de cada actividad del Look Ahead.
- Cada restricción, para su levantamiento, debe ser asignada a un responsable con un plazo razonable definido.
- Debe abarcar todo tipo de temas: Contractuales, Logísticos, Ingeniería, etc.



Figura 16. Relación entre Look Ahead de Producción y análisis de restricciones.

CODIGO DE PROYECTO 1535				AREA / DPTO PRODUCCION														AREA / DPTO REGISTRO													
NOMBRE DE PROYECTO YANACCOCHA 05				CLIENTE MINERA YANACCOCHA SRL														UBICACION PAD - YANACCOCHA S													
DESCRIPCION DE ACTIVIDAD DEL 08/07/2006 AL 04/08/06				UNID.		CANT.		FECHA DE INICIO PLANIADA		SEMANA 1				SEMANA 2				SEMANA 3				SEMANA 4									
				L	M	J	V	S	D	L	M	J	V	S	D	L	M	J	V	S	D	L	M	J	V	S	D				
AREA 1				PC		30.00		08-06																							
EXTRACCION DE YOPUSOL				PC		30.00		08-06																							
EXTRACCION DE YOPUSOLE				PC		30.00		08-06																							
RETIRO DE MATERIAL GRAN																															
CARGA DE SOL DURA																															
CARGA DE SOL BLENDA																															
COLOCACION DE PL																															

REGISTRO			Revisó		
GESTION DE PROYECTOS			Fecha:		
ANALISIS DE RESTRICCIONES			Page:		
CODIGO PROYECTO / PROPUESTA 1535		AREA / DPTO PRODUCCION		NO. REGISTRO	
NOMBRE PROYECTO / PROPUESTA YANACCOCHA 05		CLIENTE MINERA YANACCOCHA SRL		UBICACION YANACCOCHA S	
DESCRIPCION DE LA ACTIVIDAD DEL 15/07/06 AL 11/08/06		FECHA INICIO PLANIADA		DESCRIPCION DE LA RESTRICCION	
AREA 1					
COLOCACION DE PL		05/08/2006		Falta de material en cantera, necesidad de incrementar 02 excavadoras mas.	
				Falta de Aprobación de Calidad del Material Granulométrico.	
				03/06/2006	
				JEFE DE CANTERAS	
				03/06/2006	
				JEFE DE CALIDAD	

Fuente: GyM, 2008, Manual de Gestión de Proyectos de Construcción

Los criterios o tipos de restricciones (enunciativos más no limitativos) son los siguientes:

- Información: Evaluar si se cuenta con la información necesaria (planos, especificaciones, normas técnicas, procedimientos constructivos, etc.).
- Materiales: Evaluar si se cuenta con los materiales y consumibles necesarios.
- Recursos Humanos: Evaluar si se cuenta con los recursos humanos necesarios (empleados, obreros, terceros, etc.) con la especialidad, la experiencia y en cantidad suficiente.
- Equipos y Herramientas: Evaluar si se cuenta con los equipos y herramientas necesarias (propias y/o alquiladas).
- Actividades Predecesoras: Evaluar si las actividades predecesoras ya están ejecutadas o se ejecutarán con anterioridad al inicio de esta actividad.
- Permisos o Licencias: Verificar si se cuentan con los permisos municipales o los que correspondan.
- Cliente/Supervisión: Verificar si existen aprobaciones o permisos que deban ser otorgados por el cliente y/o la supervisión.

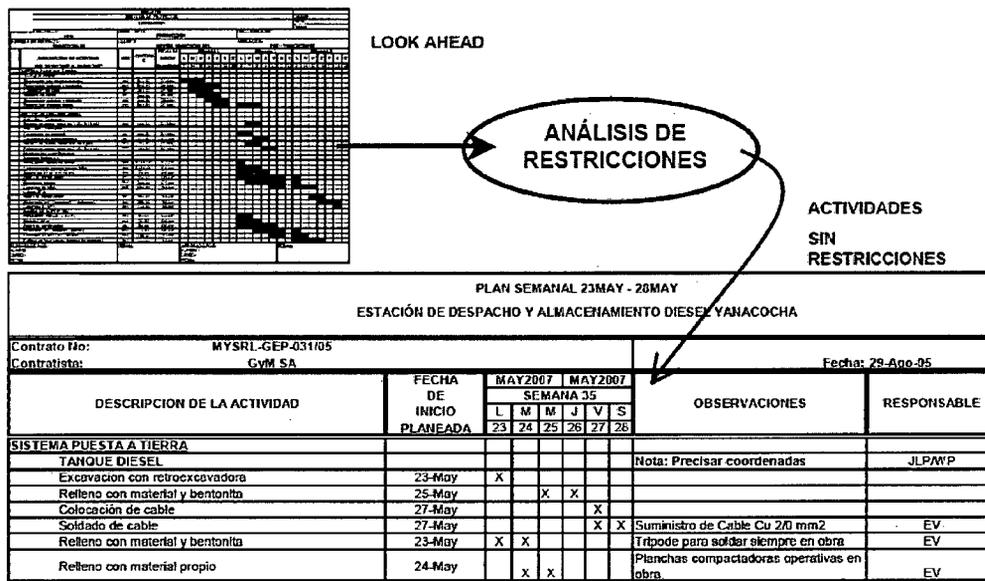
Luego de hacer todas las evaluaciones, se registran para cada actividad del Look Ahead de Producción las correspondientes restricciones, los responsables y las fechas límite de levantamiento de cada una, en el formato de Análisis de Restricciones.



c) PLAN SEMANAL

En la medida que se levanten las restricciones detectadas en el análisis anteriormente descrito se irán generando actividades listas para ser programadas en las semanas siguientes. El Plan Semanal se confecciona en base a las actividades libres de restricciones que cada ingeniero responsable de área se comprometa a ejecutar en la semana siguiente; no basta con duplicar la primera semana del Look Ahead. Esto es mostrado en la figura 17.

Figura 17. Obtención del plan semanal.



Fuente: GyM, 2008, Manual de Gestión de Proyectos de Construcción

El ejercicio a través del cual se establece el Plan Semanal, permite definir detalladamente las tareas que se ejecutarán en la semana y asignar los recursos necesarios para la ejecución de las tareas considerando rendimientos adecuados, estableciendo así los compromisos de producción para la semana.

Requisitos:

- Debe contener tareas que estén listas para ser ejecutadas; es decir, libres de restricciones.
- La descripción de las tareas debe ser específica y cuantificable.
- El cumplimiento de las tareas deberá ser medido.



d) ANÁLISIS DE CONFABILIDAD

El análisis de confiabilidad tiene como objetivos:

- Medir la confiabilidad del sistema de programación, es decir, la precisión con la que podemos predecir lo que se hará en la semana.
- Identificar y eliminar las causas que no permiten obtener el 100% del cumplimiento del plan semanal.
- Aprender sistemáticamente de las experiencias que se estén obteniendo en el Proyecto, con el fin de no cometer errores repetitivos.

Para conseguir estos objetivos se utilizan las siguientes herramientas:

- PPC (Porcentaje del Plan Completado)
- Análisis de Causas de Incumplimiento.
- Análisis Periódico de Causas de Incumplimiento.

PPC (Porcentaje de Plan Completado)

El cálculo del PPC se hace en base al Plan Semanal o Programa Diario y se debe tomar en cuenta que:

- Se obtiene de dividir el número de tareas completadas durante la semana entre el número de total de tareas asignadas en el Plan Semanal o Programa Diario.

$$PPC = \frac{CANTIDAD DE TAREAS COMPLETADAS}{TOTAL DE TAREAS PROGRAMADAS}$$

- Sólo se consideran las tareas 100% completadas, no se toma en cuenta el % parcial de avance de las mismas. Tener en cuenta que la información plasmada en el Plan Semanal deberá ser específica y cuantificable para su medición.
- Lo que se quiere medir no es el avance sino la efectividad y confiabilidad del Plan Semanal, es decir, la calidad de la Programación.

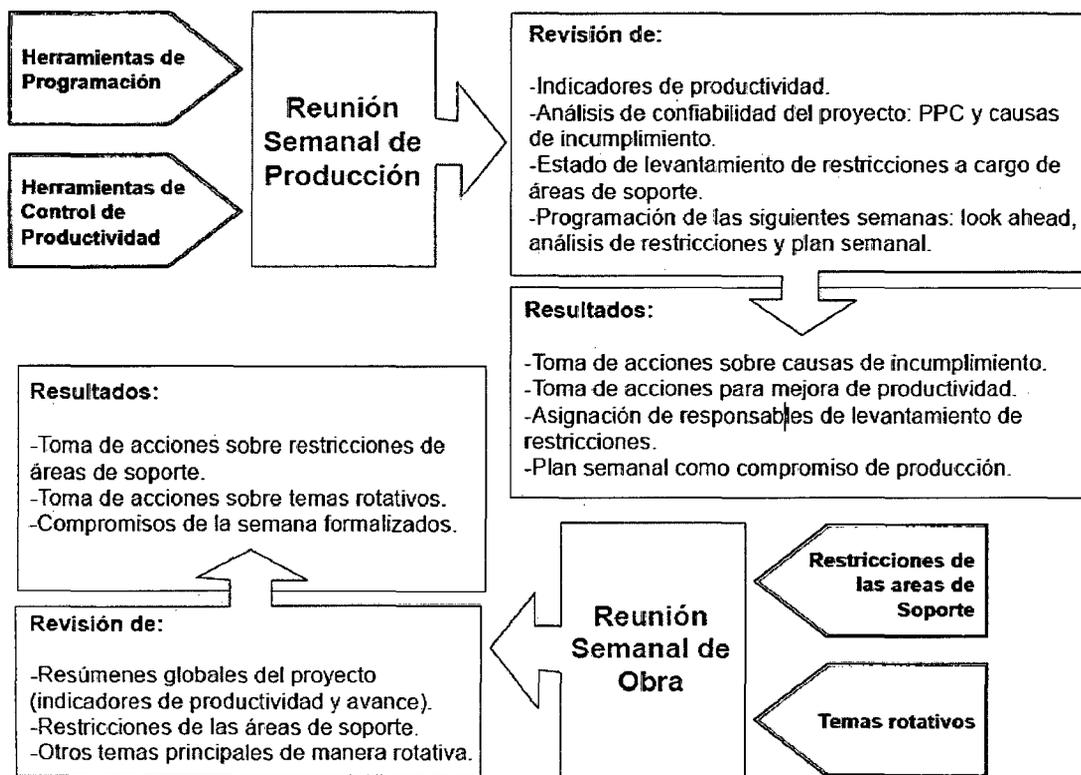


1.2.6.3 REUNIONES DE PROGRAMACIÓN⁶

Su objetivo es brindar una herramienta de gestión que garantice la coordinación permanente entre las áreas responsables del proyecto y hacer efectivos los resultados del uso de las herramientas de programación.

Se desarrolla efectuando la Reunión Semanal de Producción, la cual articula en torno suyo la revisión detallada de las herramientas de Programación y Productividad. Y la Reunión Semanal de Proyecto que tiene como principales objetivos; la revisión y tratamiento de las restricciones de las áreas de soporte y verificar el estado macro del proyecto. La relación entre ambas se representa en la figura 18:

Figura 18. Interrelación de las reuniones de programación.



Fuente: GyM, 2008, Manual de Gestión de Proyectos de Construcción

⁶ GyM, 2008, Manual de Gestión de Proyectos de Construcción, Lima.



1.2.7 FUNDAMENTOS DE INGENIERÍA EN EL MOVIMIENTO DE TIERRAS⁷

El término movimiento de tierras incluye una gama de actividades múltiples desde la nivelación para la construcción de un edificio, hasta las operaciones de corte y relleno en la construcción de una carretera, o en la explotación de una cantera, en la construcción de una presa de grandes dimensiones, incluso también como es el caso del presente estudio en la construcción de un pad de lixiviación.

Los equipos seleccionados para el movimiento de tierras debe ser capaz de completar el trabajo dentro del tiempo establecido en el contrato. Las unidades de acarreo deben tener la capacidad suficiente tanto en tamaño como en rapidez para mover el material y así poder cumplir con el trabajo requerido dentro del plazo acordado y a la vez obtener las ganancias esperadas. El equipo de carguío deberá ser capaz de excavar y cargar la cantidad requerida para completar el proyecto en el tiempo justo.

Operaciones Básicas en el Movimiento de Tierras

Las operaciones en el movimiento de tierras empiezan con la preparación del material que va a ser movido. Esto puede incluir aflojar o soltar el material por medio de una voladura o un escarificado. También puede incluir remover el exceso de humedad, para este caso se realiza después de limpiar la capa vegetal superior (top soil).

Excavar es el primer paso en el movimiento del material desde su ubicación natural, aunque se haya movido cuando se soltó el material. El material debe tener una forma y tamaño manejable, este debe encajar o entrar en el cucharón del equipo de excavación y en la tolva del equipo de acarreo. En el caso de las voladuras, las mallas de perforación deben estar bien calculadas de manera que el material volado tenga las dimensiones apropiadas para que los camiones puedan trasladarlos correctamente sin sufrir desgastes mayores a los estimados.

Luego de la excavación el material es trasladado desde su punto original de ubicación al lugar donde se almacenará para su posterior uso. La distancia de traslado puede variar desde algunos metros a varios kilómetros.

El término “cortar” significa remover el material desde su ubicación natural, y el término “rellenar” significa acarrear y descargar el material en el lugar indicado de acuerdo al tipo de obra. Algunas veces también estos términos se utilizan juntos como “corte y relleno” para describir la actividad conjunta de la utilización del mismo material, como se puede distinguir en el caso de construcción de carreteras.

El siguiente paso en la operación del movimiento de tierras es la descarga del material, que por lo general es vaciado para su uso final en un lugar específico. Si el material va a ser

⁷ Canturín Cano y Siucho Raúl, 2004, Aplicación de métodos de productividad en las operaciones de equipos de movimiento de tierras (ejemplo práctico: cantera de la fábrica de Cementos Lima), UPC.



desechado, éste se vaciará y no se tocará nuevamente durante la construcción. Por otro lado si el material va a ser usado como relleno será descargado de tal forma que se pueda esparcir de una manera uniforme y compactado por otro equipo. O como se mencionó anteriormente, el material será utilizado para la fabricación de un producto.

En resumen, la operación del movimiento de tierras se caracteriza por:

- a) Soltar o aflojar el material que va a ser excavado, por medio de voladuras u otros procedimientos.
- b) Excavación del material en la cantera o en el lugar de trabajo.
- c) Carguío
- d) Acarreo o transporte del material a su destino final.
- e) Descarga del material en el relleno, terraplén o en el lugar indicado de acuerdo a especificaciones de la obra.
- f) Provisión del acabado final al material de acuerdo a las especificaciones de la obra.

El Ciclo de Trabajo del Movimiento de Tierras

El ciclo de trabajo consiste en las operaciones repetitivas que el equipo realiza en el movimiento de tierras. El trabajo primario en la operación del movimiento de tierras es la excavación, el carguío, el acarreo, la descarga, y el regreso por la siguiente carga. Estos trabajos pueden ser realizados por un tipo de maquinaria o pueden ser hechos por dos o más maquinas trabajando en conjunto.

El material puede ser cargado, acarreado y descargado por una moto trailla operando independientemente, o éste, puede ser aflojado por un tractor, cargado por un cargador frontal y acarreado y descargado por un volquete. Si el material va a ser utilizado como relleno, se desarrollará un ciclo de trabajo secundario. Este incluye el esparcimiento del material hasta llegar al espesor indicado, añadiendo cantidades de agua que permitan que el suelo llegue a su humedad óptima, y compactándolo con la densidad específica. Cada uno de estos pasos es hecho por diferentes equipos. Cada máquina tiene un ciclo de trabajo que depende de otro equipo del conjunto.

El común denominador para analizar un ciclo de trabajo es el *Tiempo del Ciclo* (Cycle Time o CT). Esto es real para un análisis económico del movimiento de tierras, porque el costo de mano de obra y del equipo está principalmente relacionado con el tiempo.

El Tiempo de Carguío (Load Time o LT) es el tiempo total que toma para llenar la unidad de acarreo. Es el tiempo que se requiere para llenar a su máxima capacidad la tolva del camión. Este tiempo depende de la condición de la tierra o de la roca, el tamaño del cucharón, las cuchillas ó uñas, la capacidad de la tolva, el método que se utiliza para cargar el material y las eficiencias operativas del equipo. El tiempo de carguío es controlable.



El *Tiempo de Acarreo* (Haul Time o HT) es el tiempo que toma acarrear el material desde el punto de carga hasta el punto de descarga. Este varía de acuerdo a la distancia de acarreo, de acuerdo a la condición de la vía, la potencia del equipo, entre otras. Las distancias de acarreo pueden variar indistintamente, las velocidades de viaje varían con la potencia, las condiciones de trabajo, y la condición y perfil de la ruta de acarreo. La distancia de retorno para un equipo vacío es prácticamente la misma que la distancia que se recorre cuando el equipo está lleno. En definitiva, el perfil del camino de acarreo puede cambiar y las velocidades de viaje de una unidad vacía pueden ser ligeramente diferentes, por consiguiente el *Tiempo de Retorno* (Return Time o RT) del camión vacío va a ser considerado.

Otro componente del tiempo del ciclo de movimiento de tierras, es el *Tiempo de Descarga* (Dumping Time o DT). Este tiempo depende de las condiciones del material, si éste está seco y suelto, o pegajoso. El tiempo de descarga está influenciado por el tipo de equipo y por el método de descarga. Si va a ser descargado en un solo lugar, si va ser esparcido bruscamente, si va a ser esparcido cuidadosamente, o simplemente si se va a acopiar el material de manera desordenada; en cualquiera de estos casos el tiempo de descarga es solamente una pequeña fracción del total del ciclo.

Cuando la unidad de acarreo regresa hacia la zona de carguío por la siguiente carga, el cargador puede estar ocupado cargando a otra unidad de acarreo. En muchos casos la unidad de acarreo se verá obligada a hacer línea o "cola" en espera de su turno de carga. Si este tiempo es considerado, es asumido como un tiempo fijo conocido como *Tiempo de Espera* (Spotting Time o ST). Entonces:

$$CT = LT + HT + DT + RT + ST$$

CT : *Tiempo del Ciclo* (Cycle Time)

LT : *Tiempo de Carguío* (Load Time)

HT : *Tiempo de Acarreo* (Haul Time)

RT : *Tiempo de Retorno* (Return Time)

ST : *Tiempo de Descarga* (Dumping Time)

La unidad de tiempo que generalmente se usa para el análisis del trabajo de los equipos de construcción es el minuto. El tiempo de carga y descarga de material son generalmente considerados como tiempos fijos, porque estos son casi constantes en relación con el tiempo que requiere el acarreo y el retorno. Partes del HT y del RT como la aceleración, deceleración, frenado y volteo son considerados también como tiempos fijos.



Tipos de equipos en el movimiento de tierras

Los siguientes equipos están diseñados para realizar el trabajo individualmente o contribuir a la realización del trabajo:

- Tractores con accesorios como hojas de empuje, empujadoras y escarificadores.
- Moto traíllas, auto propulsadas y remolcadas (de tiro)
- Cargadores frontales
- Excavadoras
- Volquetes y camiones
- Moto niveladora, posiblemente con escarificadores
- Compactadora

Descripción de algunos equipos utilizados en la tesis

a) Equipos de Acarreo y Transporte

Los volquetes y camiones son usados para transportar tierra, agregados, roca, y otro tipo de materiales para la realización de proyectos de construcción. El camión de volteo más común es el volquete que por lo general lleva material suelto e hinchado.

Los camiones cumplen una labor eficiente en el transporte de tierra, agregados, roca, mineral y otros materiales. Estas unidades de acarreo cumplen un óptimo trabajo ya que se desplazan a velocidades relativamente altas y a la vez pueden trasladar grandes volúmenes de material. También nos permiten una flexibilidad en el manejo de los equipos ya que si es necesario apresurar el transporte del material se pueden incrementar el número de unidades, o en caso contrario disminuir la flota.

Los camiones se pueden clasificar por lo siguiente:

- Tamaño y tipo de motor – gasolina, diesel, butano, propano.
- Número de velocidades (cambios de velocidad)
- Tipos de manejo – dos ruedas, cuatro ruedas, seis ruedas, etc.
- Número de ruedas y ejes.
- Métodos de descarga - descarga posterior, descarga lateral
- Tipo de material a transportar – tierra, roca, mineral, etc.
- Capacidad, en toneladas o metros cúbicos

Si los camiones serán usados para realizar una labor general de transporte de material, es decir, para una actividad no específica, se deberán adquirir camiones adaptables a las distintas situaciones de trabajo, pero si los camiones van a desempeñar una labor específica, se deberá escoger el camión que mejor encaje en el proyecto.



El tipo de camiones utilizados en el proyecto son los de descarga posterior. Estos son los más versátiles ya que pueden desempeñar una buena labor en distintos tipos de obras. El diseño de su tolva, ángulos y esquinas pueden facilitar o dificultar la descarga, ya que el material debe fluir por dichas zonas. Las tolvas de los camiones que transportan materiales arcillosos húmedos no deben contar con ángulos ni esquinas pronunciadas. En cambio la arena seca o grava fluirá con facilidad en cualquier diseño de tolva. En el caso de transporte de rocas de gran tamaño, las tolvas tendrán sus laterales inclinadas con una ligera pendiente para facilitar su descarga.

Productividad de los Equipos de Acarreo

La selección del equipo de acarreo requiere de un análisis completo. Esto significa que cada parte del ciclo de trabajo debe ser considerado. El ciclo de trabajo incluye cargar, transportar, descargar, retornar y estacionar el volquete para recibir la siguiente carga.

Tomando cada componente del ciclo por separado, los factores que influyen en la duración del tiempo del ciclo son los siguientes:

1. El tiempo de carguío es afectado por:

- El tamaño y tipo de cargador (sí es un cargador continuo como uno de faja, o es un cargador de cuchara como una pala o un cargador frontal, o sí es un cable de arrastre)
- El tipo y condición del material a cargar (puede ser grava o arcilla húmeda y pegajosa, piedras medianas o grandes como roca volada)
- El volumen de la tolva del vehículo.
- Las habilidades del operador tanto para el cargador como para el volquete.

2. El tiempo de acarreo está afectado por:

- La distancia de cada carga que será transportada
- Las condiciones de la ruta de transporte (cuáles son los factores de resistencia al rodamiento de cada tramo de la vía, cuáles son los coeficientes de tracción de la superficie de la vía)
- El perfil de la vía (que tan pronunciadas pueden ser las pendientes de la vía)
- Diversas condiciones influyen en la velocidad de transporte y movimiento (que direcciones y cambios de pendiente causan aceleración, deceleración y frenado; la ruta contará con el drenaje correspondiente o la resistencia a la tracción y al rodamiento será variable; habrá puentes o pasos a desnivel en la ruta)
- Los rendimientos característicos de los camiones bajo las condiciones de la vía, pendientes y otras adversidades.



3. El tiempo de descarga está gobernado por:

- El tipo y condición del material a descargar.
- La forma de manipular el material en la descarga. (Si es descargado a lo largo de la pendiente del banco, o si es esparcido por compactación, o si va a ser descargada en una tolva).
- El tipo y la operación del equipo de acarreo (tipos de descarga, como lateral, posterior, o inferior; o si es una combinación de un vagón con un tractor o un camión).

4. El viaje de retorno es influenciado por los mismos factores que afectan al viaje de ida. Además, esta componente del ciclo de trabajo generalmente no influye demasiado en la selección de un volquete o de un equipo de acarreo. Una excepción a lo anteriormente dicho puede ocurrir si el volquete debe retornar sobre una pendiente muy inclinada o por una ruta que tenga una resistencia al rodamiento muy alta o un coeficiente de tracción menor en las rutas de acarreo.

5. La ubicación del volquete para la carga está influenciada por:

- El tipo de cargador.
- Las diferentes posiciones que el cargador debe tomar para excavar y cargar.
- La facilidad de maniobrar del equipo de acarreo.

b) Excavadoras

Es una máquina autopropulsada sobre ruedas o cadenas con una superestructura capaz de efectuar una rotación de 360°, que excava, carga, eleva, gira y descarga materiales por la acción de una cuchara fijada a un conjunto de pluma y balancín, sin que el chasis o la estructura portante se desplace.

La definición anterior, precisa que si la máquina de descrita no es capaz de girar su superestructura una vuelta completa (360°), no es considerada como excavadora. La precisión de los órganos de trabajo, tales como pluma, balancín, estructura portante, etc.; fija y unifica los criterios clasificadores.

Operaciones:

- Excavar
- Cargar
- Girar
- Desplazar
- Movilizar y desmovilizar

El tipo de excavadoras utilizados en el proyecto son excavadoras normales de cuchara, que para efectuar la descarga la cuchara gira alrededor de un eje vertical y se baja hasta colocar en un punto de vertido; se descarga sobre el fondo.



El giro corresponde a un tiempo improductivo y este debe ser reducido al mínimo; por ello los camiones para cargar el material excavado, deben situarse lo más cerca posible del frente del ataque. Cuando el operario es experto, efectúa ambos movimientos, giro y puesta en posición de descarga, simultáneamente, reduciéndose de esta manera al mínimo el tiempo necesario para el ciclo de funcionamiento de la maquina. No es recomendable efectuar el giro cuando se está cargando la cuchara, pues se somete a la pluma a un esfuerzo de torsión que puede producir averías.

c) Tractores

Los tractores o Buldóceres, son las máquinas para movimiento de tierra con una gran potencia y robustez en su estructura, diseñado especialmente para el trabajo de corte (excavando) y al mismo tiempo empujando con la hoja (transporte). En esta máquina son montados diversos equipos para poder ejecutar su trabajo, además debido a su gran potencia tiene la posibilidad de empujar o apoyar a otras máquinas cuando estas lo necesiten

Operaciones:

- Excavar(a cielo abierto en grandes dimensiones).
- Acarreo en grandes dimensiones.

El tipo de tractores utilizados en el proyecto son tractores de orugas, en general con las siguientes características:

- Su combustible mayormente es el diesel, son equipos de mayor potencia.
- Chasis rígido.
- Velocidades máximas de entre 7 y 15 km/h.
- Potencias de entre 140 y 770 HP.
- Transmisiones mecánicas.
- Pesos en servicio de entre 13,5 y 68 t.
- Capacidad de remontar pendientes de hasta 45°.



DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

1. **Trabajo productivo (TP):** Acción que agrega valor al producto y por tanto aporta en forma directa a la producción.
2. **Trabajo contributorio (TC):** Trabajo que sirve como soporte a los trabajos productivos pero que no agrega valor al producto.
3. **Trabajo no contributorio (TNC):** Acción que no agrega valor al producto y por tanto significan una pérdida en la producción.
4. **Calidad:** Es el conjunto de características de un producto que determina el grado de satisfacción de las exigencias de un cliente.
5. **Cliente:** Agente que requiere un producto para cubrir una necesidad.
6. **Producto:** Resultado de procesos que satisface las necesidades del cliente.
7. **Ejecutor:** Persona o conjunto de personas que realizan una tarea.
8. **Eficiencia:** Uso apropiado de recursos para lograr un objetivo.
9. **Eficacia:** Logro de un objetivo.
10. **Flujo:** Toda acción realizada durante la ejecución de un proceso. Puede clasificarse como contributorio o no contributorio.
11. **Productividad:** Cociente de la producción entre los recursos empleados.
12. **Partida:** Conjunto de procesos agrupados con la finalidad de llevar un control de costos y ejecución de un proyecto.
13. **Tarea:** Trabajo encomendado a una persona o conjunto de personas que debe ejecutarse en un tiempo determinado.
14. **Pérdidas:** acciones que no agregan valor y por tanto generan un costo innecesario.

CAPÍTULO II

DESCRIPCIÓN DE LA OBRA Y METODOLOGÍA



La plataforma de lixiviación está ubicada en un área caracterizada por condiciones de suelo variables, en donde la superficie del terreno se caracteriza por presentar superficies onduladas, conformada por planicies, colinas, cerros de poca altura, caracterizada por la presencia de una quebrada (zona este de la plataforma) con presencia de agua permanente, afloramientos de roca, y de afloramientos de agua que alimentan los bofedales existentes en las depresiones de la superficie del terreno existente.

La preparación de la fundación de la plataforma de lixiviación incluye la limpieza superficial del material orgánico (topsoil) y su transporte al área de acumulación de material orgánico. Una vez completado esta actividad, la preparación de la fundación depende de si las áreas de la plataforma de lixiviación están en corte o relleno, de acuerdo con el plano de nivelación y del tipo de material que subyace a la capa de material orgánico.

Luego, se retira el material inadecuado en su totalidad el cual está compuesto principalmente por arcillas blandas saturadas y no saturadas, arenas y materiales orgánicos y se transporta y deposita por separado en el área de acumulación de material inadecuado.

Para llegar a los niveles de rasante indicados en los Planos, fueron necesarios cortes profundos, rellenos masivos y enrocados (dren francés).

La colocación de materiales de relleno común compactado se ha iniciado primero con el material proveniente de la excavación dentro de los límites de la plataforma de lixiviación y posteriormente, de las fuentes de préstamo alrededor del perímetro de la plataforma de lixiviación o canteras de préstamo.

Una vez completado la nivelación del terreno se ha colocado el revestimiento de suelo (SL) soil liner para permitir una colocación adecuada de la geomembrana. La geomembrana será instalada sobre toda la plataforma, finalizando en una zanja de anclaje en el perímetro.

Sobre la geomembrana se ha colocado una capa de protección (PL) conformada por material zarandeado que es importado, esparcido y compactado. Sobre el PL se instalará un sistema de tuberías perforadas de colección de solución. Las tuberías de colección de solución están cubiertas con material de drenaje (DA) obtenido por chancado y/o tamizado. De la misma forma todo el área de la plataforma será cubierta con material de drenaje (DA).

2.1.1 DESCRIPCIÓN DE ALGUNAS ACTIVIDADES

Excavación de suelos orgánicos (topsoil)

En la actividad de excavación de suelos orgánico (topsoil), se utilizó equipos y mano de obra necesarias para remover toda la capa de material orgánico y material vegetal dentro la plataforma de lixiviación, apilar el material en hileras o pilas para su remoción y la carga en camiones para su transporte.



Excavación de material inadecuado

En la actividad de excavación de material inadecuado se utilizó equipos y mano de obra necesarios para remover todo el material inadecuado saturado y no saturado in situ dentro la plataforma de lixiviación, hasta una pila de acopio.

Excavación material común y roca

En la actividad de excavación de material común y/o roca se utilizó equipos y mano de obra necesarias para excavar in-situ materiales de suelo (material común que debido a los trabajos de excavación y/o por condiciones especiales como climatológicas, etc. han perdido sus características mecánicas, y por lo tanto, no son adecuados para su utilización como material para relleno); y su apilamiento temporal de ser necesario.

Conformar y compactar material de relleno común y masivo

En la actividad de conformar y compactar material de relleno común y masivo, se utilizó equipos y mano de obra necesarios para esparcir el material vertido, humedecer, de ser necesario, y compactar de acuerdo con los requerimientos.

Conformación y colocación del material para revestimiento del suelo (soil liner)

En la actividad de colocación del material para revestimiento del suelo (soil liner), se utilizó equipos y la mano de obra necesarios para verter, esparcir, remover la roca de mayor tamaño al indicado en las Especificaciones Técnicas, humedecer y/o escarificar u otro procedimiento adecuado para reducir la humedad del material acorde a los requerimientos.

Transporte y colocación de capa de protección de la geomembrana

En la actividad de transporte y colocación de la capa de protección (PL) de la plataforma de lixiviación se utilizó equipos, mano de obra y materiales necesarios para verter, esparcir, humedecer (si es necesario) y compactar la capa de protección de acuerdo con los requerimientos.

Transporte y colocación de agregado para drenaje en tuberías de solución, capa de drenaje en toda el área y perímetro del pad

En la actividad de acarreo y colocación de capa de drenaje (DL) para la plataforma de lixiviación, se utilizó equipos y mano de obra necesarias para verter cuidadosamente el material de la capa de drenaje (DL) sobre las tuberías de colección de solución, esparcir lo necesario sobre las tuberías y a lo largo del perímetro expuesto de la capa de protección, y compactar el material de la capa de drenaje (DL) que se encuentra cerca de las tuberías de colección principales.



2.2 METODOLOGÍA

2.2.1 METODOLOGÍA DE ESTUDIO

La recopilación de datos y la información se realizó a través de la observación directa; y fue plasmada en tres documentos que describiremos posteriormente, los cuales son: i) reporte de avance semanal, ii) reporte de horas máquina y iii) reporte de horas hombre consumidas, con los cuales elaboraremos el índice de productividad de Equipos e índice de productividad de Mano de Obra; alternado el análisis de resultados con el diálogo con las personas responsables del proyecto con el fin de fundamentar los dichos resultados. Paralelamente se realizó el análisis de fiabilidad de la programación mediante la elaboración del Porcentaje de Plan Completado (PPC), determinar la causas de no cumplimiento y luego poder relacionar la productividad con la eficacia de cada actividad.

El estudio del periodo ideal del proyecto se basó después de la difusión y capacitación de los conceptos Lean y el impulso al uso de las herramientas afines, como son el Lookahead Planning, y los análisis de restricciones y análisis de resultados como PPC y Razones de No Cumplimiento.

En forma general las herramientas que se consideran como fases de implementación son:

- Lookahead Planning
- Análisis de Restricciones
- Análisis de resultados
- Rutina de reuniones

En el Anexo 2 se adjunta los formatos llenados y rutina de reuniones para la planificación y control de una semana específica.

Los documentos adjuntos en este anexo son:

- Lookahead Schedule
- Análisis de restricciones.
- Resultado de la semana anterior (PPC y Causas de No Cumplimiento)
- Rutina de reuniones

El análisis de resultados se detalla en el capítulo III, donde se presenta la evolución de la curva de productividad (eficiencia) y la evolución del PPC (eficacia).



2.2.2 ANÁLISIS DE DATOS

2.2.2.1 ELABORACIÓN DE UN INFORME DE PRODUCTIVIDAD

Para realizar el análisis de productividad se seleccionó 03 actividades ejecutadas en el proyecto, las más relevantes, y se realizó un Informe de Productividad (IP) que viene a ser un reporte que mide la eficiencia con que se ejecutan las actividades, comparando la eficiencia real con la eficiencia prevista en el Presupuesto Inicial.

Para entender lo venidero debemos de recordar lo siguiente:

El consumo de *recursos* expresado por unidad de trabajo se llama *ratio*. La cantidad de trabajo que ejecuta una *cuadrilla* se llama *rendimiento*.

2.2.2.1.1 INFORMACIÓN PREVIA

Primeramente se seleccionó y/o agrupará aquellas actividades que determinan el avance del Proyecto, siguiendo criterios generales de importancia, volumen y secuencia. El objetivo fue seleccionar aquellas actividades que, a través de la medición de su avance, permitan reflejar de mejor manera el avance del Proyecto en su conjunto.

Los Índices de Productividad se obtuvieron de las siguientes fuentes:

a) Producción Total Prevista Original (Metrados)

Con esta información se puede calculó lo siguiente:

- Horas Hombre Totales (Previsto Original).
- Horas Máquina Totales (Previsto Original).
- Ratios (Previstos Originales).

b) Producción Total Prevista Original (Metrados)

Esta información proviene del Presupuesto Inicial que es el resultado del Planeamiento en lo referente a costos. Se elaboró tomando como base el Presupuesto original entregado por el departamento de presupuestos del contratista ejecutor y revisado durante el proceso de transferencia. Las consideraciones asumidas inicialmente y el planeamiento diseñado durante la etapa de licitación son actualizados a través del análisis de las condiciones reales encontradas en el Proyecto.



CÓDIGO	PARTIDAS DE CONTROL	UND	TOTAL PREVISTO A EJECUTAR
CARG	CARGUÍO DE MATERIALES DE CORTE	m3	5,460,509.54
EXC2	EXCAVACIÓN MATERIAL INADECUADO	m3	1,492,198.00
TRAN	TRANSPORTE DE MATERIAL	m3xkm	25,457,476.00

- Horas Hombre Totales Previsto Original

Información proveniente también del presupuesto Meta que es función del Rendimiento de los equipos y de los metrados correspondientes.

		HORAS HOMBRE
CÓDIGO	PARTIDAS DE CONTROL	TOTAL PREVISTO A CONSUMIR
CARG	CARGUÍO DE MATERIALES DE CORTE	12,869.53
EXC2	EXCAVACIÓN MATERIAL INADECUADO	30,360.71
TRAN	TRANSPORTE DE MATERIAL	291,049.59
Total		609,831.52

- Horas Máquina Totales Previsto Original

Información también proveniente del presupuesto Meta que es función del Rendimiento de los equipos y de los metrados correspondientes.

		MONTO EQUIPOS (USD)
CÓDIGO	PARTIDAS DE CONTROL	TOTAL PREVISTO A CONSUMIR
CARG	CARGUÍO DE MATERIALES DE CORTE	3,727,050.31
EXC2	EXCAVACIÓN MATERIAL INADECUADO	2,040,400.00
TRAN	TRANSPORTE DE MATERIAL	15,565,675.37
Total		25,483,137.97



- Ratios Previstos Originales

Representan la eficiencia prevista para la ejecución de las actividades. Se obtuvieron de los análisis de precios unitarios del Presupuesto Inicial, en función de la cuadrilla y del rendimiento previsto para ejecutar la actividad.

MANO DE OBRA		
CÓDIGO	PARTIDAS DE CONTROL	Ratio Meta (HH/Und)
CARG	CARGUÍO DE MATERIALES DE CORTE	0.1975
EXC2	EXCAVACIÓN MATERIAL INADECUADO	0.0203
TRAN	TRANSPORTE DE MATERIAL	0.0114

EQUIPOS		
CÓDIGO	PARTIDAS DE CONTROL	Ratio Meta (USD/Und)
CARG	CARGUÍO DE MATERIALES DE CORTE	0.6100
EXC2	EXCAVACIÓN MATERIAL INADECUADO	0.8856
TRAN	TRANSPORTE DE MATERIAL	0.4208



2.2.2.1.2 REPORTE DE AVANCE SEMANAL

Avances reales:

Los avances referidos a las actividades a analizar se obtuvieron de acuerdo a un Control de Avance, de tal manera que se genera un reporte de los metrados ejecutados a la fecha, el cual es el input para los Informes de Productividad. Las partidas analizadas en el Control de Productividad, así como sus alcances, son las mismas generadas por los reportes del Control de Avance, y bajo la misma periodicidad.

Tabla 4. Reporte de Avance Semanal

AVANCE REAL SEMANAL -PARCIAL						Sem 2	Sem 3	Sem 4
PAY		DESCRIPTION	UNIT			03-ene-13	10-ene-13	17-ene-13
ITEM No.	COD							
02		PLATAFORMA DE LIXIVIACIÓN (incluye canales de derivación, accesos perimetrales y poza de at						
02.01		Movimiento de Tierras para la Plataforma de Lixiviación						
02.01.01	2.01	Excavación de suelos orgánicos (topsoil)	m3	0		460,595	460,595	460,595
02.01.02	2.01	Acarreo de suelos orgánicos (topsoil) al área de acumulación Canta	m3	0		206,229	206,229	206,229
02.01.03	2.01	Acarreo de suelos orgánicos (topsoil) a la nueva área de acumulación	m3	0		389,112	389,112	389,112
02.01.04	2.01	Remoción parcial del Botadero Canta	m3	0		41,709	41,709	41,709
02.01.05	2.01	Acarreo Adicional de suelo orgánico (1km libre de acarreo incluido, 4.0 km previstos de ac	m3	0		432,702	432,702	432,702
02.01.06	2.01	Excavación y acarreo de Material Inadecuado no saturado a botadero	m3	18556		1,142,448	1,176,255	1,194,821
02.01.07	2.01	Acarreo Adicional de material inadecuado no saturado (1km libre de acarreo incluido, 4.2	m3	76447		4,893,883	5,000,209	5,076,656
02.01.08	2.01	Excavación y acarreo de Material Inadecuado saturado a botadero	m3	598		142,636	147,000	147,588
02.01.09	2.01	Acarreo Adicional de material inadecuado saturado (1km libre de acarreo incluido, 12.5 km	m3	4009		1,377,110	1,398,031	1,400,036
02.01.10	2.01	Excavación y acarreo de suelo argiloso saturado	m3	0		14,592	14,592	14,592
02.01.11	2.01	Excavación y acarreo de material argiloso (desgranable, no requiere voladura) a botadero	m3	8954		356,770	357,220	366,174
02.01.12	2.01	Excavación y acarreo de material argiloso (requiere voladura) a botadero	m3	0		-	-	-
02.01.13	2.01	Acarreo Adicional de argiloso (1km libre de acarreo incluido, 4.2 km previstos de acarreo p	m3	47219		3,171,813	3,175,008	3,222,227
02.01.14	2.02	Preparación de la Superficie de Fundación	m2	0		132,382	132,382	132,382
02.01.15	2.01	Excavación y transporte de roca, (no requiere voladura) para relleno común o área de acu	m3	0		191,202	191,202	191,202
02.01.16	2.01	Excavación y transporte de roca, (requiere voladura) para relleno común o área de acumu	m3	0		76,043	76,043	76,043
02.01.17	2.02	Excavación y Acarreo de Material Común para relleno	m3	0		771,756	771,756	771,756
02.01.18	2.01	Excavación y Acarreo de Material Común para eliminación al botadero de material inadeco	m3	0		60,145	72,780	72,780
02.01.19	2.01	Excavación y Acarreo de Roca para eliminación al botadero de material inadecuado (mate	m3	0		15,116	15,116	15,116
02.01.20	2.01	Acarreo Adicional de Material Común o Roca para eliminación al botadero de material inad	m3	0		311,575	350,139	350,139
02.01.21	2.02	Desarrollo del Área de préstamo de Material de Relleno Común	sa	0		-	-	-
02.01.22	2.02	Importar relleno común de canteras de préstamo	m3	2561		124,006	125,379	127,940
02.01.23	2.02	Importar relleno masivo de canteras de préstamo	m3	0		-	-	-
02.01.24	2.02	Acarreo Adicional de Material Común de Área de Préstamo (1km libre de acarreo incluido,	m3	12070		399,009	405,704	417,774
02.01.25	2.02	Conformar y compactar Material de Relleno Común	m3	2561		791,756	793,131	795,692
02.01.26	2.02	Conformar y compactar Material de Relleno Masivo	m3	0		342,178	342,178	342,178
02.01.27	2.02	Importar Material para relleno estructural de canteras de préstamo (por MYSRL)	m3	0		-	-	-
02.01.28	2.02	Conformar y compactar Material de relleno estructural (por MYSRL)	m3	0		-	-	-

**2.2.2.1.3 CONSUMO DE HORAS HOMBRE (HH):**

La cantidad de HH consumidas de acuerdo a las actividades a controlar se obtuvieron del Sistema de Planillas de Obreros:

Tabla 5. Reporte de Consumo de Horas Hombre

OBRA		: 1736 PAD LA QUINUA 8A			
PROPIETARIO		: MINERA YANACOCCHA S.A.			
CONTRATISTA		: GYM S.A.			
DESDE		: 29/11/2012		HASTA 05/12/2012	
Fecha	Cod Frente	Frente	Cod Par	Partida	HH
29/11/2012	A3	Plataforma de Lixiviación Area	CARG	Cargo de Materiales de Corte	77.50
29/11/2012	A3	Plataforma de Lixiviación Area	DEPO	Mantenimiento de Botaderos	70.00
29/11/2012	A3	Plataforma de Lixiviación Area	EXC1	Excavacion suelo organicos (top soil)	4.00
29/11/2012	A3	Plataforma de Lixiviación Area	EXC2	Excavación Material Inadecuado	32.50
29/11/2012	A3	Plataforma de Lixiviación Area	EXC4	Excavación Roca Material rpea	8.00
29/11/2012	A3	Plataforma de Lixiviación Area	GECO	Vaciado de Concreto en Geoceld	160.00
29/11/2012	A3	Plataforma de Lixiviación Area	TRAN	Transporte de Material	771.00
30/11/2012	A3	Plataforma de Lixiviación Area	CARG	Cargo de Materiales de Corte	28.50
30/11/2012	A3	Plataforma de Lixiviación Area	EXC2	Excavación Material Inadecuado	99.00
30/11/2012	A3	Plataforma de Lixiviación Area	GECO	Vaciado de Concreto en Geoceld	160.00
30/11/2012	A3	Plataforma de Lixiviación Area	TRAN	Transporte de Material	713.00
01/12/2012	A3	Plataforma de Lixiviación Area	CARG	Cargo de Materiales de Corte	36.00
01/12/2012	A3	Plataforma de Lixiviación Area	EXC2	Excavación Material Inadecuado	236.00
01/12/2012	A3	Plataforma de Lixiviación Area	GECO	Vaciado de Concreto en Geoceld	128.00
01/12/2012	A3	Plataforma de Lixiviación Area	TRAN	Transporte de Material	552.00
03/12/2012	A3	Plataforma de Lixiviación Area	CARG	Cargo de Materiales de Corte	38.50
03/12/2012	A3	Plataforma de Lixiviación Area	EXC1	Excavacion suelo organicos (top soil)	35.00
03/12/2012	A3	Plataforma de Lixiviación Area	EXC2	Excavación Material Inadecuado	102.00
03/12/2012	A3	Plataforma de Lixiviación Area	GECO	Vaciado de Concreto en Geoceld	160.00
03/12/2012	A3	Plataforma de Lixiviación Area	TRAN	Transporte de Material	777.50
04/12/2012	A3	Plataforma de Lixiviación Area	CARG	Cargo de Materiales de Corte	39.50
04/12/2012	A3	Plataforma de Lixiviación Area	EXC1	Excavacion suelo organicos (top soil)	39.00
04/12/2012	A3	Plataforma de Lixiviación Area	EXC2	Excavación Material Inadecuado	92.00
04/12/2012	A3	Plataforma de Lixiviación Area	GECO	Vaciado de Concreto en Geoceld	243.00
04/12/2012	A3	Plataforma de Lixiviación Area	TRAN	Transporte de Material	753.00
04/12/2012	A3	Plataforma de Lixiviación Area	ZA01	Excavación y Relleno Zanja de	32.50
05/12/2012	A3	Plataforma de Lixiviación Area	CARG	Cargo de Materiales de Corte	64.50
05/12/2012	A3	Plataforma de Lixiviación Area	EXC1	Excavacion suelo organicos (top soil)	35.00
05/12/2012	A3	Plataforma de Lixiviación Area	EXC2	Excavación Material Inadecuado	177.00
05/12/2012	A3	Plataforma de Lixiviación Area	GECO	Vaciado de Concreto en Geoceld	88.00
05/12/2012	A3	Plataforma de Lixiviación Area	TRAN	Transporte de Material	794.50
Número de Obreros :		367			17,267.50



2.2.2.1.4 CONSUMO DE HORAS MÁQUINA (HM):

La cantidad de HM consumidas de acuerdo a las actividades a controlar se obtuvo de los reportes diarios de Operadores para cada Equipo.

Las HM se han agrupado por familias de equipos (tractores, excavadoras, etc.) y multiplicadas por la misma tarifa considerada en el Presupuesto Inicial, a fin de obtener un costo en dólares por unidad de trabajo compatible con el considerado en el Presupuesto Inicial.

Tabla 6. Reporte de Consumo de Horas Máquina

FRENTE DESCRIPCION	PARTIDA DESCRIPCION	FAMILIA	HM
Producción de Agregados	Importación de Material	Cargador Frontal s/Llantas 200-225 hp	7.1
	Producción de Agregados	Camión Volquete 15 m3	108.8
		Cargador Frontal s/Llantas 200-225 hp	352
		Torre de Iluminación 5 Kw	353
		Tractor de Orugas 240-310 hp	116.5
		Zaranda Finlay 390	143.5
Transporte De Material	Camión Volquete 15 m3	10.3	
Plataforma de Lixiviación Area 1	Carguío de Materiales de Corte	Cargador Frontal s/Llantas 200-225 hp	1.3
		Retrocargador s/Llantas 75-90 hp	1.4
	Conformación y Colocación de DL	Retrocargador s/Llantas 75-90 hp	13.4
		Tractor de Orugas 240-310 hp	21
	Conformación y Colocación de Capa de PL	Cargador Frontal s/Llantas 200-225 hp	2
	Excavación Material Inadecuado	Retrocargador s/Llantas 75-90 hp	15.4
		Motoniveladora 140 h o similar	41.1
	Conformar y Compactar Relleno Común	Retrocargador s/Llantas 75-90 hp	7.4
		Rodillo Liso Vibratorio Autopropulsado	31
		Tractor de Orugas 130-160 hp	3
		Tractor de Orugas 240-310 hp	28
	Sub Base Preparada	Retrocargador s/Llantas 75-90 hp	3.5
	Sub Drenes	Retrocargador s/Llantas 75-90 hp	5.5
	Conformación y Colocación De Soil Liner	Cargador Frontal s/Llantas 200-225 hp	2.3
		Retrocargador s/Llantas 75-90 hp	4
Rodillo Liso Vibratorio Autopropulsado		5.1	
Transporte de Material	Tractor de Orugas 240-310 hp	6	
Plataforma de Lixiviación Area 2	Transporte de Material	Camión Volquete 15 m3	498.3
	Conformación y Colocación de DL	Tractor de Orugas 240-310 hp	2
		Excavación Material Inadecuado	Tractor de Orugas 240-310 hp
	Conformar y Compactar Relleno Común	Rodillo Liso Vibratorio Autopropulsado	19.6
		Tractor de Orugas 240-310 hp	3
	Sub Base Preparada	Minicargador 56 hp	2
		Retrocargador s/Llantas 75-90 hp	6.8
	Conformación y Colocación de Soil Liner	Minicargador 56 hp	20.9
		Motoniveladora 140 h o similar	8.1
		Retrocargador s/Llantas 75-90 hp	8.5
		Rodillo Liso Vibratorio Autopropulsado	22.4
		Torre de Iluminación 5 Kw	27
		Tractor de Orugas 130-160 hp	8.6
	Tractor de Orugas 240-310 hp	33.9	
	Transporte de Material	Camión Volquete 15 m3	500.2
Plataforma de Lixiviación Area 3	Excavación y Relleno Zanja De Anclaje	Retrocargador s/Llantas 75-90 hp	4.2
	Carguío De Materiales De Corte	Torre de Iluminación 5 Kw	30
		Excavación Material Inadecuado	Torre de Iluminación 5 Kw
	Excavación Material Común	Tractor de Orugas 240-310 hp	69.9
		Tractor de Orugas 240-310 hp	20.2
	Excavación Roca Material Ripeable	Tractor de Orugas 240-310 hp	12.3
	Transporte de Material	Camión Volquete 15 m3	1571.6



Seguidamente se expresó la cantidad de recursos consumidos por cada unidad de trabajo realizado. Con lo cual se obtuvo dos Informes de Productividad:

2.2.2.2 IP DE MANO DE OBRA:

Con la cual medimos la eficiencia de una cuadrilla o equipo de trabajadores en el consumo de los recursos de Mano de Obra al ejecutar sus trabajos. La cantidad de recursos consumida son horas hombre (HH), siendo ésta la unidad utilizada para medir la Productividad de la mano de obra.

Seguidamente comparamos los ratios de HH reales y previstos para cada actividad controlada, obteniendo el estado de Productividad de mano de obra del Proyecto, que se mide en HH ganadas o perdidas a la fecha. Con base en el análisis de los resultados obtenidos se puede proyectar un ratio para el saldo de Proyecto, obteniendo las HH ganadas o perdidas del saldo. Con la suma de ambas se obtiene las HH ganadas o perdidas proyectadas a fin de Proyecto.

El grafico siguiente presenta un ejemplo de IP de mano de obra, en el que:

- ✓ Los avances y las HH reales se obtuvieron directamente de las fuentes ya indicadas.
- ✓ El valor de HH acumuladas previstas se obtuvieron de multiplicar el ratio previsto y el metrado acumulado actual.
- ✓ Los ratios reales son el resultado del cociente entre las HH utilizadas y el avance ejecutado.

Tabla 7. IP de mano de obra

IP MO ALCANTARILLADO												
OBRA : YANACOCHA 05										% Avance: Partida N° 1		18.8%
										FECHA: 16-Jul-07		al 22-Jul-07
Item	PARTIDAS DE CONTROL	und	AVANCE			HORAS HOMBRE			PRODUCTIVIDAD			
			Total	Acum. Actual	% Acum. Actual	PPTO	Acum. Previsto	Acum. Real	und	Ratio Previsto	Ratio Real Acum.	Ratio Real Semanal
1	Colocación y Compactación de Material de Relleno	m3	100,000	18,830	18.8%	7,000	1,318	1,335	nh/m3	0.07	0.071	0.068
2	Actividad B	m2	100,000	18,880	18.9%	2,000	378	345	nh/m2	0.02	0.018	0.017
3	Actividad C	m3	100,000	18,250	18.3%	35,000	6,388	6,610	nh/m3	0.35	0.362	0.361
HH Acum. previsto = Avance Acum. * Ratio previsto												
Ratio Real Acum. = HH Acum. / Avance Acum.												



2.2.2.3 IP DE EQUIPOS

Con la cual medimos la eficiencia de una cuadrilla o pull de equipos en el consumo de los recursos de Equipos al ejecutar sus trabajos. La cantidad de recursos consumida son horas máquina (HM). Sin embargo, no se puede usar la HM como unidad de medida de la Productividad, ya que generalmente el pull de equipos está conformado por equipos diferentes entre sí (distintos en función, en potencia, en consumo de combustible, etc.). Para medir la Productividad del pull de equipos se tradujeron las HM a su costo en dinero, siendo ésta la unidad utilizada para medir la Productividad de los equipos.

De igual manera seguidamente comparamos los ratios de dinero, reales y previstos, para cada actividad controlada; obteniendo el estado de Productividad de equipos del Proyecto, que se mide en dinero ganado o perdido a la fecha. Con base en el análisis de los resultados obtenidos se puede proyectar un ratio para el saldo de Proyecto, obteniendo el valor de dinero ganado o perdido del saldo. Con la suma de ambos se obtiene el total de dinero ganado o perdido proyectado a fin de Proyecto.

En la tabla siguiente presentamos un ejemplo de IP de equipos, en el que:

- ✓ Los avances y las HM reales se obtuvieron directamente de las fuentes ya indicadas.
- ✓ Como ya se mencionó, las HM de los diversos equipos deben ser convertidas en dinero, a fin de obtener una unidad de medida homogénea de la Productividad de toda la cuadrilla de equipos. Para ello se usan las tarifas del Presupuesto Meta a fin de obtener un ratio en dinero compatible con el ratio meta. Como se muestra en el grafico 24, se ha utilizado como unidad monetaria el Dólar Americano (US\$).

Tabla 8. Conversión de las HM en dinero.

ITEM	DESCRIPCIÓN	UND	SEMANA	PU
			3	
HM REALES PARA ESTE AVANCE	Camión Cisterna	HM	24	24.99
	Rodillo Liso Vibratorio Autopropulsado	HM	98	31.56
	Tractor de Orugas	HM	49	93.01
HM REALES EN US\$	HM de Equipos en US\$	US\$	8,250	
EN US\$	HM de Equipos en US\$ ACUM.	US\$	24,943	

Partida: "Colocación y compactación de material de relleno"					
Metrado:	100,000 m3				
Inicio:	01/06/2007				
Fin:	30/09/2007				
REND.	1300.00 m3/día				
Costo unitario por m3:	1.50				
DESCRIPCIÓN DEL RECURSO	UNIDAD	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$	Total \$
Mano de Obra					
Supero Chief	HR	1.00	0.007431	4.41	0.03
Peón	HR	4.00	0.029729	2.26	0.07
Operario Pezale	HR	3.00	0.024823	3.27	0.08
Equipos					
			0.003846	34.95	0.10
			0.015385	11.50	0.09
			0.007492	13.01	0.10

Costo real de las HM de la semana (US\$) = Σ(HM*PU)

- ✓ El valor del dinero acumulado previsto, se obtuvo de multiplicar el ratio previsto y el metrado acumulado actual.
- ✓ Los ratios reales son el resultado del cociente entre el dinero consumido y el avance ejecutado.



Tabla 9. IP de Equipos

IP EQ												
OBRA : YANACOCHA 05						% Avance: Partida Nº 1			18.9%			
						FECHA:16-Jul-07			al 22-Jul-07			
Item	PARTIDAS DE CONTROL	und	AVANCE			USS			PRODUCTIVIDAD			
			Total	Acum. Actual	% Acum. Actual	PPTO	Acum. Previsto	Acum. Real	und	Ratio Previsto	Ratio Real Acum.	Ratio Real Semanal
1	Colocación y Compactación de Material de Relleno	m3	100,000	18,940	18.9%	131,000	24,811	24,478	hh/m3	1.310	1.292	1.281
2	Perfilado de subrasante	m2	100,000	18,680	18.9%	43,000	8,118	7,556	hh/m2	0.430	0.400	0.390
3	Colocación de cama de tubería	m3	100,000	18,370	18.4%	409,000	75,133	75,183	hh/m3	4.090	4.093	4.040
Costo Acum. previsto = Avance Acum. * Ratio previsto												
Precio Unitario Acum. = Costo real de HM Acum. / Avance Acum.												

2.2.2.4 OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS

Una vez obtenido los Índices de Productividad nos ha permitido identificar oportunidades de mejora en la ejecución del proyecto.

A través de este estudio de productividad se ha desarrollado una optimización de procesos, identificando posibles áreas de oportunidad, que dan origen a unas alternativas de mejora.

Así pues, en toda operación de construcción es susceptible de ser mejorada ya sea al inicio de la misma o durante su ejecución. Dentro de un proceso de mejora continua, se debe buscar la optimización de los procesos constructivos a lo largo de todo el tiempo que dure el Proyecto.

A partir de este estudio es responsabilidad de los ingenieros de producción identificar y aprovechar todas las oportunidades de mejora que se puedan presentar. Si se estima necesario (por ejemplo, ante resultados negativos de los Informes de Productividad), se planteará un estudio de productividad de una actividad determinada.

Con el fin de optimizar un proceso constructivo, el estudio de productividad está enfocado en reducir los tiempos improductivos (esperas, viajes con las manos vacías, tiempos ociosos, etc.), las interferencias con otras actividades, el uso inadecuado de equipos, etc.

Algunos pasos adicionales para desarrollados para elaborar el estudio de productividad, son los siguientes:

a) Se realizó un seguimiento en campo de cada proceso constructivo, recogiendo algunos datos como:

- La secuencia real que sigue el proceso constructivo en el análisis (no aquella que se cree que se está aplicando).
- Los tiempos muertos del personal obrero.



- Opiniones y sugerencias del personal obrero respecto de las causas que producen tiempos muertos, y que han sido identificadas por ellos mismos.
 - Principales problemas observados que paralizaron los trabajos.
 - Bosquejo de distribución del personal y los equipos.
- b) Luego se examinó cada operación en campo, se hizo un análisis más formal de los problemas detectados. Con el fin de cuantificar la magnitud de las pérdidas y de las oportunidades.
- c) Finalmente se propuso alternativas de mejora para ser probadas.

CAPÍTULO III

DISCUSIÓN DE RESULTADOS



CAPÍTULO III. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Luego de haber recolectado los datos, procesado los mismos y haber hecho el análisis del procesamiento de datos recolectados, vamos a analizar los resultados acotando las consideraciones preestablecidas para el estudio, dar a notar las limitaciones presentadas en la realización de las mismas y proponer algunas mejoras en la realización de los procesos para un aumento de la productividad en nuestro sistema de producción.

3.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS

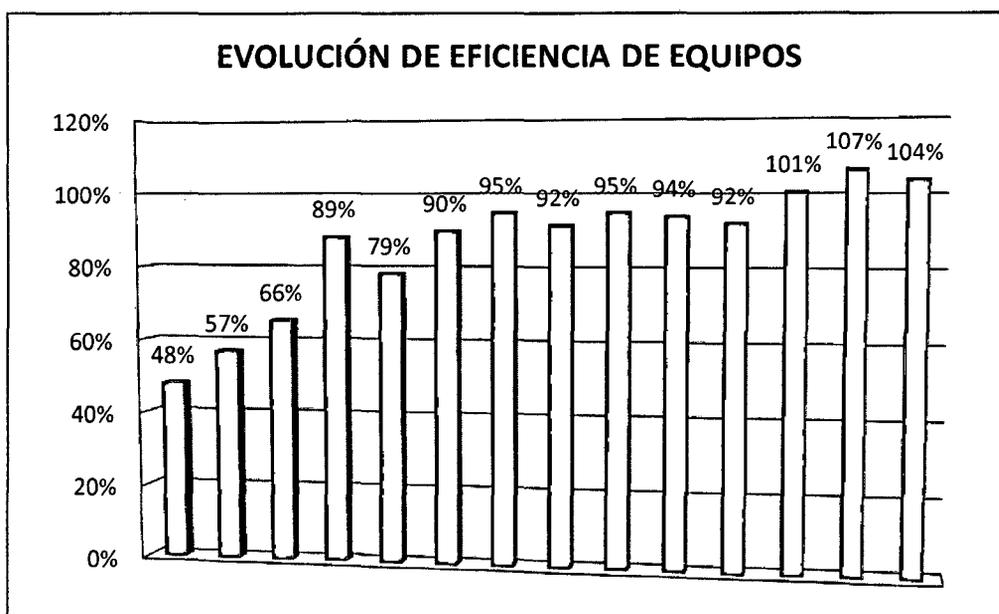
Los resultados los podemos dividir en cuantificables, que vienen a ser los índices de productividad y los indicadores Porcentaje de Plan Completado (PPC). Y también en no cuantificables que está conformado por todas las observaciones, críticas y mejoras que se vieron durante la ejecución del proyecto y que forman parte de la retroalimentación del sistema.

3.1.1 ANÁLISIS DE PRODUCTIVIDAD DE EQUIPOS

Los datos procesados para la estimación de la productividad de equipos para las 3 actividades trascendentes anteriormente descritas corresponden a un período de 55 semanas consecutivas.

La figura 20 muestra la evolución de la productividad del trabajo, en función de los Equipos utilizados para las 03 actividades durante el período de medición de 14 meses (55 semanas).

Figura 20. Evolución de Productividad en 14 meses





3.1.1.1 MEJORA DE EFICIENCIA DE EQUIPOS

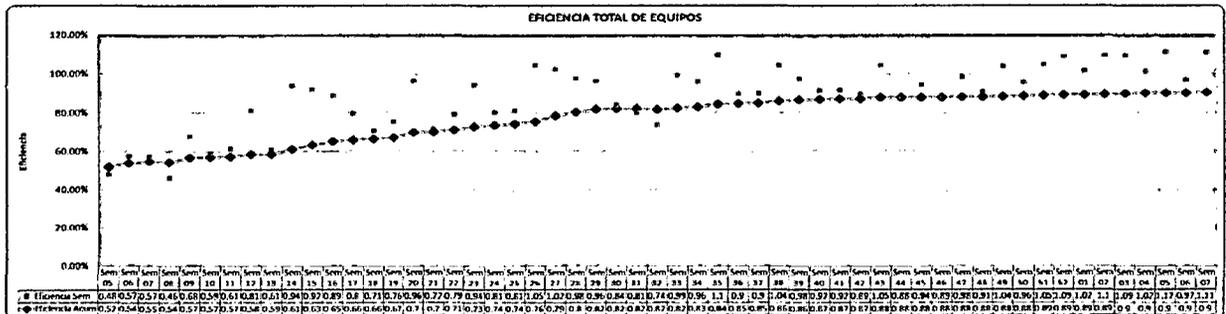
Para analizar la evolución de eficiencia de todo el periodo de estudio y de cada actividad se realizó mediante hojas de cálculo creadas para ello. Esto permitió la medición del progreso equivalente en unidades de trabajo en el periodo de 55 semanas.

Recordemos que el ratio de eficiencia se define como los recursos utilizados durante el avance del proyecto.

Como las operaciones de superficie se basan en la eficiencia del equipo, el indicador o ratio es el costo por metros cúbicos avanzados. Una relación no se puede calcular como HM / M3 (horas de la máquina gastadas / metros cúbicos avanzados) porque la eficiencia difiere entre diferentes tipos de equipos. A razón común es calcular cuántos dólares son invertidos por metro cúbico avanzado.

En la figura 21 (Anexo 3), se muestra la curva de eficiencia total, la cual muestra la evolución de la productividad con tendencia de mejora. Las primeras semanas alcanzaron una eficiencia de hasta 66 % y en las últimas llega hasta 107%.

Figura 21. Evolución de la Eficiencia de Utilización de Equipos para 55 semanas.



Por lo tanto, notamos que aumenta la eficiencia, y esto se refleja en un mejoramiento de las operaciones. Por lo tanto, la aplicación del sistema de gestión utilizado, ha mejorado la planificación y Mantenimiento de Equipos. Esto se logró con mayores niveles de operatividad y menos fallos de los equipos.

De modo similar la curva de productividad (ratios) para cada actividad las podemos observar en la figura 22 y con mayor claridad en el Anexo 4.

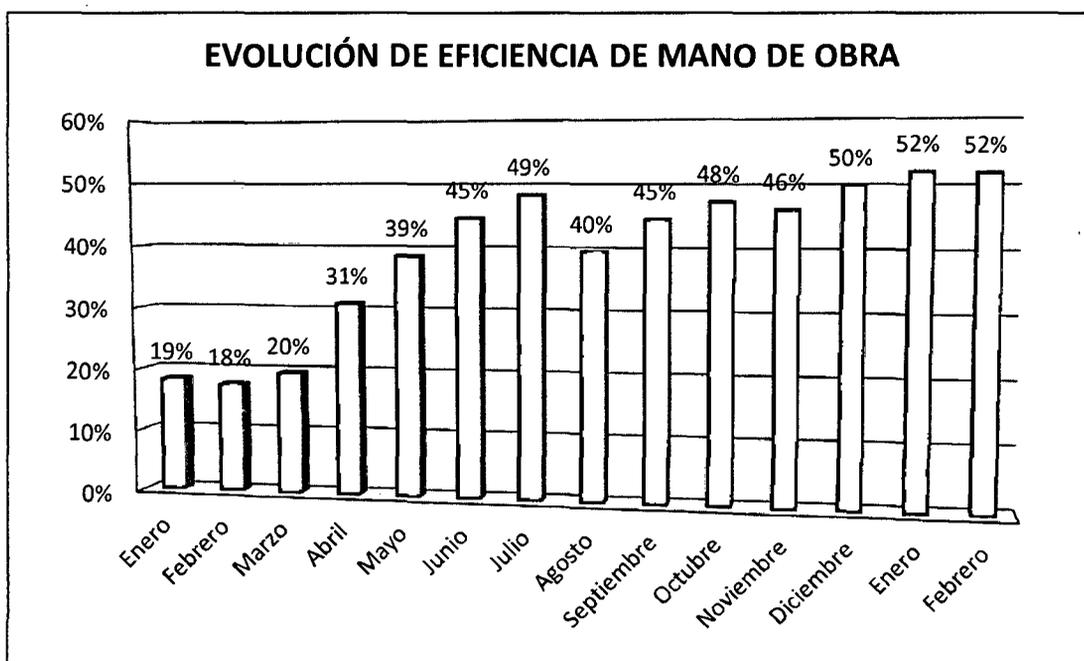


3.1.2 ANÁLISIS DE PRODUCTIVIDAD DE MANO DE OBRA

Los datos procesados para la estimación de la productividad de mano de obra para las 3 actividades seleccionadas por su importancia (corte, carguío y transporte de material) al igual que el análisis para equipos corresponden a un período de 55 semanas consecutivas.

La figura 23 muestra la evolución de la productividad del trabajo, en función de la mano de obra utilizada para las 03 actividades durante el período de medición de 14 meses (55 semanas).

Figura 23. Evolución de Productividad en 14 meses



3.1.2.1 MEJORA DE EFICIENCIA DE MANO DE OBRA

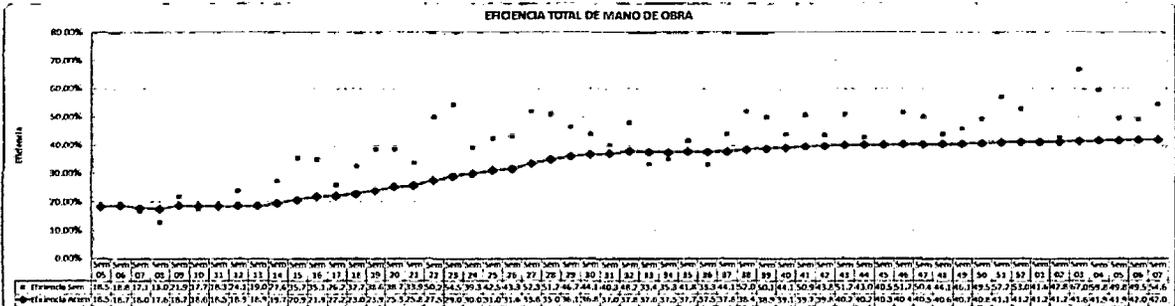
La productividad de la mano de obra da cuenta de la eficiencia de este factor humano dentro del proceso de producción. Una baja eficiencia no solo significa que los trabajadores no sean eficientes en su trabajo, puede ser también que no cuentan con el equipo operativo o adecuado, o con el tiempo oportuno para trabajar o bien existen interferencias y/o obstáculos que impiden el normal desarrollo de su trabajo.

Así pues, como las operaciones de superficie se basan en la eficiencia del equipo, el indicador de productividad de mano de obra es proporcionado por las Horas Hombre gastadas por operadores de equipos y a su vez están incluidas con horas hombre de vigías y/o cuadradores que no proporcionan un valor esencial al trabajo y únicamente contribuyen con mejorar niveles de seguridad en la actividad ejecutada.



En la figura 24 (Anexo 3), se muestra la curva de eficiencia total, la cual muestra la evolución de la productividad con tendencia de mejora. Las primeras semanas alcanzaron una eficiencia promedio de 20 % y en las últimas supera el 40%.

Figura 24. Evolución de la Eficiencia de Utilización de Mano de Obra para 55 semanas.



Por lo tanto, notamos un aumento de la eficiencia, que no es muy alta debido a la inclusión de horas improductivas en dichas actividades.

De modo similar la curva de productividad (ratios) para cada actividad las podemos observar en la figura 25 y con mayor claridad en el Anexo 5.



3.1.3 ANÁLISIS DE PORCENTAJE DE PLAN COMPLETADO (PPC)

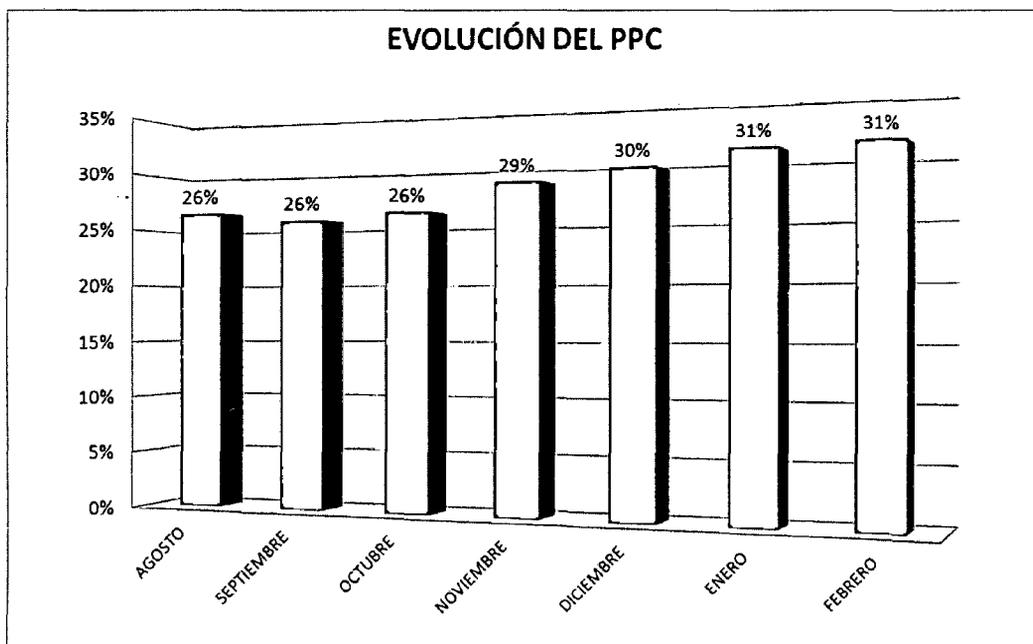
El Porcentaje de Plan Completado o PPC, consiste en medir la efectividad de la programación basándose justamente en este indicador porcentual. Recordemos que el cálculo de este indicador se realiza semanalmente, se analiza los resultados de la programación de la semana anterior, y además se considera que una asignación o actividad que ha sido culminada solo si es que se ejecutó en su totalidad tal y como fue programada.

Para obtener el PPC para la semana en análisis, se necesita conocer la “cantidad de actividades culminadas” y la “cantidad de actividades programadas”, para luego realizar el siguiente cálculo:

$$PPC = \frac{CANTIDAD\ DE\ TAREAS\ COMPLETADAS}{TOTAL\ DE\ TAREAS\ PROGRAMADAS}$$

Los resultados de 7 meses (30 semanas) se presentan en el siguiente diagrama de barras:

Figura 26. Evolución de PPC en 7 meses



En base a los resultados obtenidos y a lo observado respecto al cálculo y análisis del PPC, se tienen las siguientes observaciones:

- Como primera impresión el PPC indica resultados menores al inicio del estudio con un posterior crecimiento porcentual conforme avanza la obra. En este periodo se comprende



que este indicador nos sirve para ver cuán confiables somos al planificar las actividades semanales, siendo esto de gran provecho para el proyecto.

- b) En el mes de Noviembre se recalca la reducción de la variabilidad de lo proyectado y se va logrando a consecuencia de una planificación semanal confiable. Lo cual a la fecha se va cumpliendo y mejorando (PPC hasta el 31% en Febrero) y que esto forma parte de uno de los principios de la Lean Construction: “reducción de variabilidad”.
- c) Al evaluar en conjunto los resultados de los 7 meses, podemos observar que hubo un PPC constante de Agosto a Octubre, luego un aumento de Setiembre a Febrero. Esto nos lleva a discutir lo siguiente:
- Al iniciar, se obtuvo un PPC bajo debido a la evidente inexperiencia del equipo al elaborar la planificación intermedia (Lookahead Planning) y una inadecuada liberación de restricciones, programando actividades que de antemano se sabía que no se cumplirían.
 - Por otro lado al buscar el aprender del error de los primeros meses, se verificó en Julio que sólo se colocaron las actividades “más fáciles” de cumplir para llegar a un aparente “mejor desempeño”. Entonces se comprendió que la herramienta del análisis de restricciones y su posterior liberación aún no era comprendida a cabalidad.
 - Para las dos últimas semanas se logró que el equipo realizara un mejor análisis de restricciones y planificando lo adecuado para cada semana, es decir sin que se caiga en el facilismo por cumplir con obtener un PPC alto o el error de no tomar en cuenta las reales restricciones que evitan que se ejecuten las actividades. De este modo se obtuvo el cumplimiento real de actividades, lo cual fue alentador al ver que se tenían porcentajes más altos que meses anteriores.
 - El siguiente paso para mantener y mejorar este PPC sería continuar haciendo un correcto análisis de restricciones y seguimiento de liberaciones.
 - Si bien es cierto que la confiabilidad de lo programado está mejorando, no podríamos decir lo mismo del cumplimiento de los hitos del cronograma maestro, ya que al realizar el análisis de restricciones y no programar actividades que eran predecesoras de otras, esto nos llevó a extender las fechas finales en el Lookahead. Por ello sería necesario el tener un indicador o herramienta mediante el cual relacione el PPC versus el avance físico programado en el cronograma maestro para el cumplimiento de los hitos definidos.



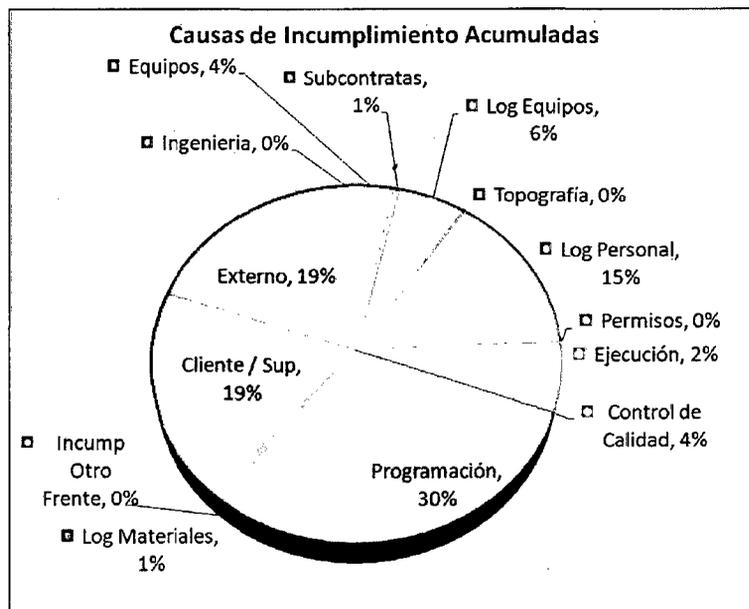
3.1.4 CAUSAS DE NO CUMPLIMIENTO

La recopilación de las Causas de No cumplimiento durante las 5 semanas de análisis dio como resultado el siguiente cuadro y gráfico de barras:

Tabla 10. Causas de No Cumplimiento

CAUSAS DE INCUMPLIMIENTO (ACUM)		
FIJAS	Programación	30%
	Log Materiales	1%
	Incump Otro Frente	0%
	Cliente / Sup	19%
	Externo	19%
VARIABLES	Ingeniería	0%
	Equipos	4%
	Subcontratas	1%
	Log Equipos	6%
	Topografía	0%
	Log Personal	15%
	Permisos	0%
	Ejecución	2%
	Control de Calidad	4%

Figura 27. Causas de No Cumplimiento





Las observaciones que pudimos hacer al evaluar las causas de No Cumplimiento fueron:

- a) Una de las principales razones de no cumplimiento, según nuestros datos, es por la "Programación" (30%). Es decir que había actividades con errores en la programación y/o hubo cambios en la programación. Esto nos llevó a evaluar que no se tuvo eficacia al momento de programar la planificación semanal y se tiene que corregir y/o mejorar algunas herramientas que mejoren la programación a detalle para conseguir mejores resultados.
- b) El análisis efectuado, es justamente lo que se desea obtener al revisar el histórico de Causas de No Cumplimiento, ya que mediante esta operación obtenemos mejoras y una retroalimentación que hacen que el sistema sea más efectivo en su aplicación.
- c) En muchos casos si hacen un buen análisis de las causas de no cumplimiento podremos detectar el origen del porque no se pudo ejecutar un trabajo, y más aún puede surgir causas que repercuten en la baja productividad de los trabajadores.

Somos conscientes que con el corto período de análisis, es posible que los resultados no emitan un histórico completo con el cual se pueden hacer grandes mejoras, pero si podemos comentar lo que rescatamos de estos datos, que algo importante para el sistema sería hacer participar a los ingenieros de producción ya que como hemos notado muchas de las causas de no cumplimiento son debidas a deficiencias en la programación, de igual manera es importante la información proveniente del cliente, el cual debido a demoras en emisión de información, aprobación de procedimiento y/o recepción de áreas terminadas ha venido afectando al flujo de producción y es también una causal relevante de no cumplimiento .

De esta manera concluimos que mediante este análisis de las causas de no cumplimiento, realmente se pueden obtener mejoras no sólo para el proyecto en el que se utiliza, sino también para la empresa misma.



3.1.5 FIABILIDAD DE LAS HERRAMIENTAS

Después de la aplicación de herramientas Lean fue posible lograr un programación más fiable y por lo tanto, también fue mejorada la eficiencia como se muestra a continuación en las Figuras 28, 29, 30 y 31 (Anexo 6, 7 y 8).

La relación directa entre la fiabilidad, la eficiencia y la productividad en la construcción del Pad La Quinoa 8A demuestra que un sistema de gestión personalizado puede traer una mejora continua en la forma en que las operaciones de minería de superficie se gestionan.

Figura 28. Eficiencia de Equipos – PPC

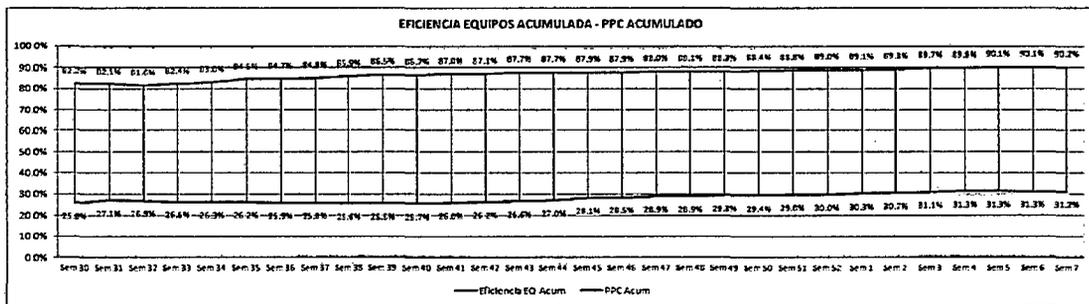


Figura 29. Eficiencia de Mano de Obra – PPC

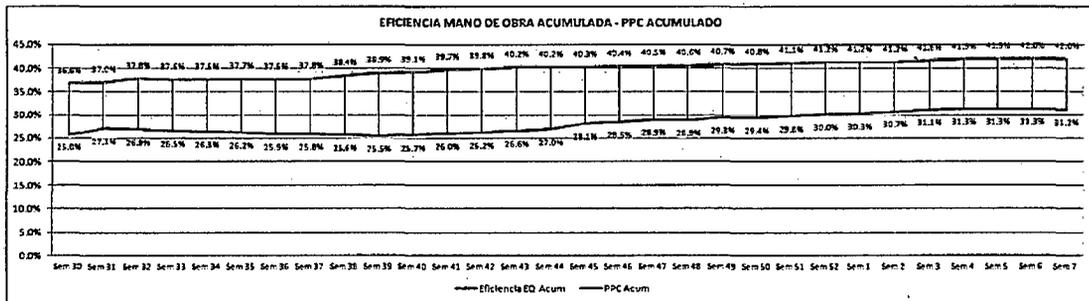




Figura 30. Productividad de Equipos – PPC

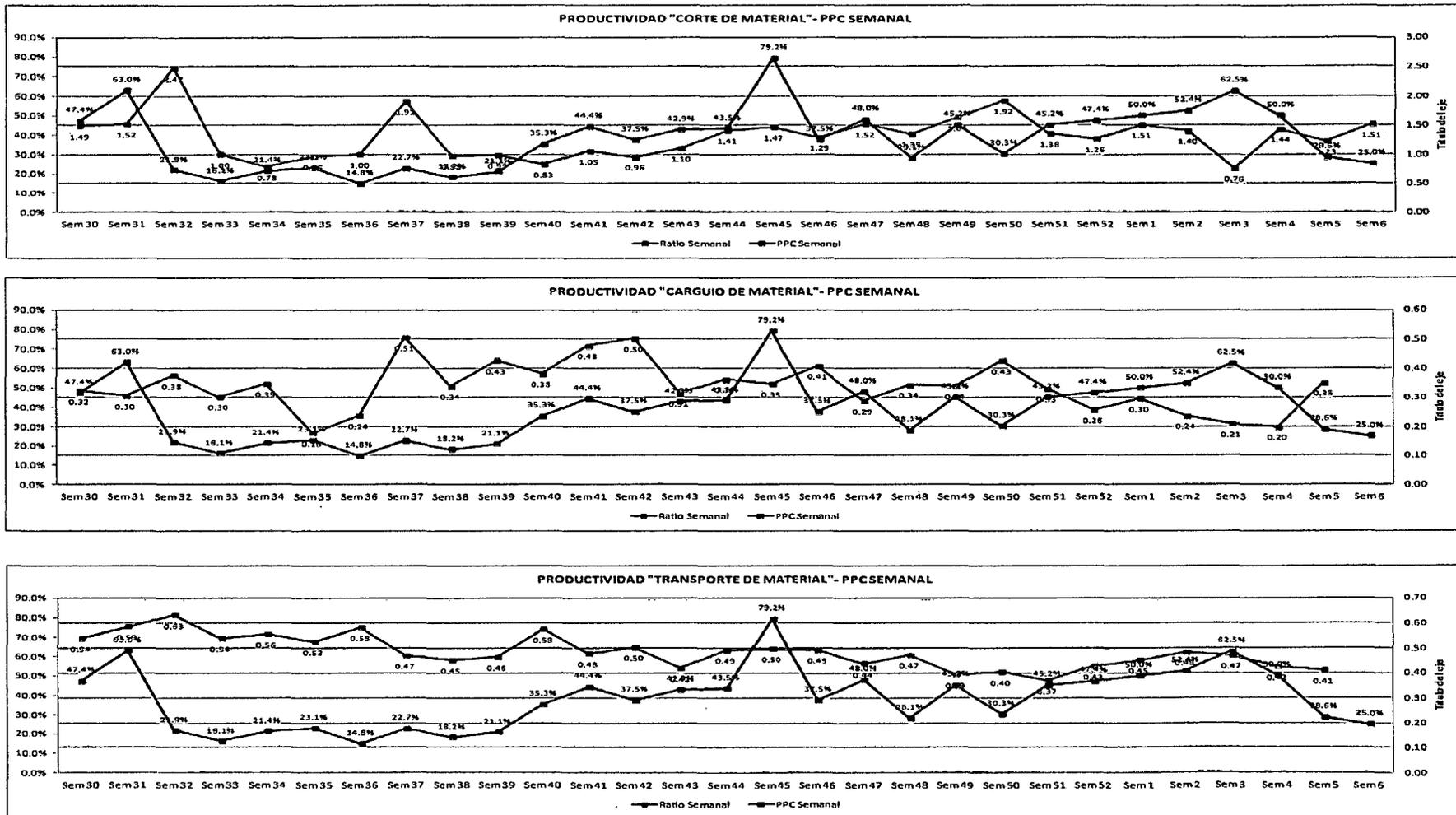
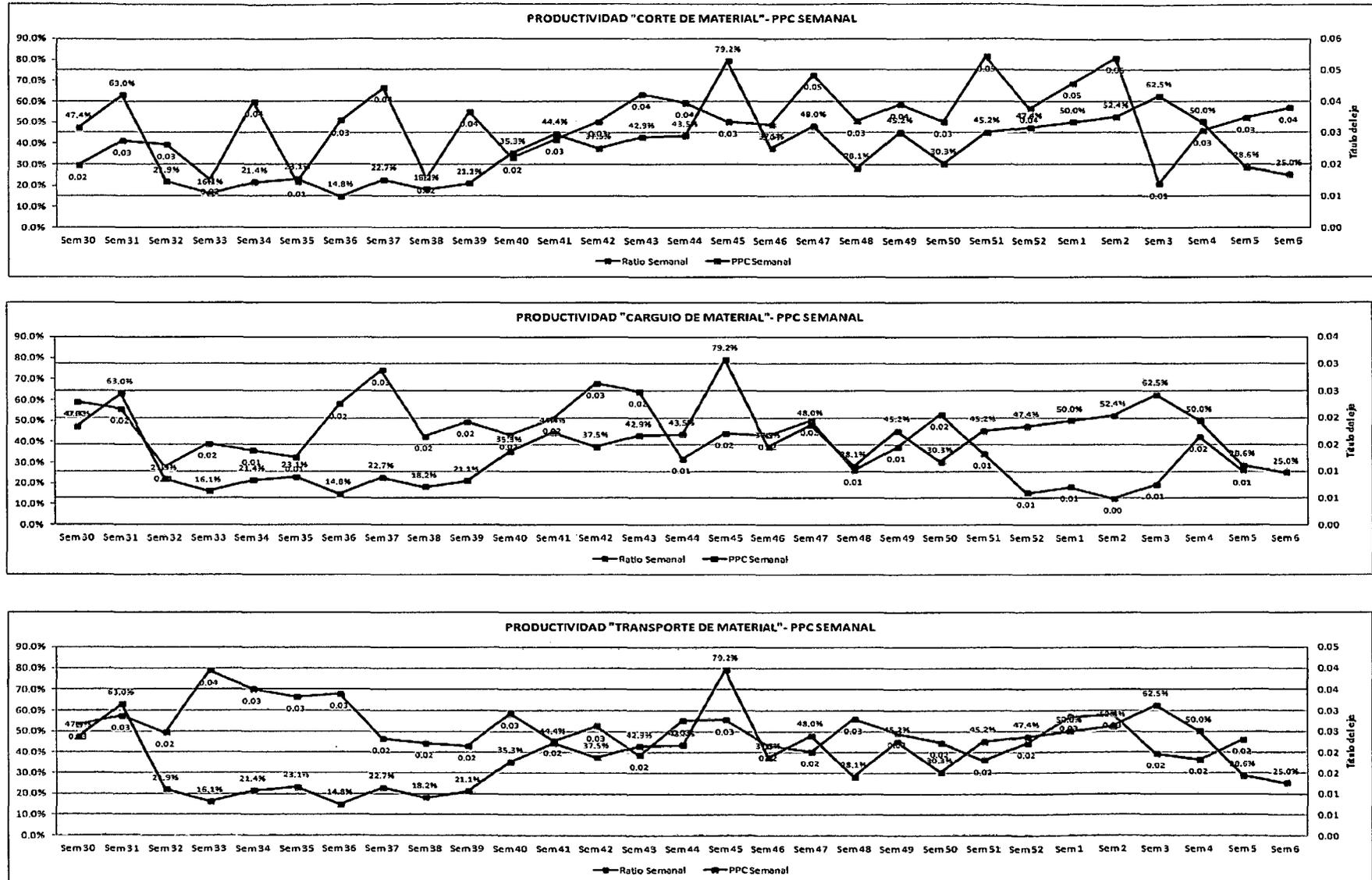




Figura 31. Productividad de Mano de Oera – PPC





3.1.6 ANÁLISIS COMPLEMENTARIO DE LOS RESULTADOS DE LAS MUESTRAS

Como se puede observar, al analizar los resultados obtenidos en la ejecución de las actividades analizadas, a pesar de que utilizó el mismo método de construcción, los mismos materiales ya que las actividades son repetitiva, se aprecia que utilizando el sistema de control basada en algunas herramientas Lean Construction como sistema de planificación y ejecución se tiene ventajas sustanciales, como mejor utilización de recursos empleados al ejecutar la obra, esto se debe a que se tiene un mayor control de todas las partes que intervienen en el proceso (diseños, materiales, mano de obra, herramientas, equipo y proveedores entre otros.)

Al tener un mayor control de todas las partes que involucran, y al darle seguimiento semanal a los mismos, es donde se puede obtener la seguridad de la continuidad del proceso, puesto que se está al tanto de que hay que estar liberando las restricciones para que no exista ningún retraso o en su defecto, minimizar el retraso. Esto hace también que se tenga presente qué restricciones están libres, y por consiguiente qué trabajos se pueden ir adelantando durante el proceso.

Inclusive, el costo de mano de obra y equipos se logró reducir, gracias a la reducción del tiempo empleado en la ejecución de las actividades.

Caso contrario en el sistema tradicional en donde solo se ve de manera superficial las tareas del proceso que están por ejecutarse, sin hacerse un análisis más a fondo por parte de todos los involucrados si pueden o no realizarse las tareas y que soluciones pueden darse, ya que se van realizando las tareas como se van presentando, no conforme a un análisis de lo que se debe hacer y lo que se puede hacer.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- a) Se logró analizar la productividad de mano de obra y equipos a partir de la aplicación de algunas técnicas y herramientas Lean Construction para un lapso de 55 semanas, la cual ha reflejado índices de productividad con tendencia creciente que va mejorando con el avance del proyecto alcanzando una eficiencia mayor al 100% para utilización de equipos y mayor al 40 % en gestión de mano de obra.
- b) Se describió adecuadamente las herramientas utilizadas dentro de la planificación y programación (Look Ahead, Análisis de Restricciones, Plan semanal, Análisis de confiabilidad, reuniones de programación) y control de proyecto mediante índices de productividad los cuales son basados principalmente en el análisis semanal del estado de cada actividad y una retroalimentación continua.
- c) De acuerdo a los resultados obtenidos en esta investigación se corrobora que la aplicación de herramientas de gestión Lean Construction ha sido beneficioso al proyecto en estudio, ya que ha permitido elevar la productividad de la mano de obra y equipos, en función del aseguramiento de un flujo continuo de producción. Este método se aplica de manera iterativa con el fin de que las mejoras sean continuas y se logre disminuir o eliminar al máximo los tiempos muertos de las operaciones.
- d) Para este estudio solo se analizaron tres actividades principales que son: excavación, carguío y transporte de material; ante esto, es necesario precisar que las fases anteriores a estas actividades tienen una gran influencia en los rendimientos de las operaciones, por ser actividades predecesoras de acuerdo al proceso constructivo realizado en el proyecto.
- e) En resumen, el presente estudio es un aporte al conocimiento para aprender los principios de la nueva filosofía Lean Construction, conocer la teoría y aplicar algunas herramientas de planificación y control que van solucionando el proceso de ejecución del proyecto, lo cual lleva a pensar que un sistema de planificación forma parte de un sistema de gestión integral para una empresa en donde no sólo está involucrada la parte técnica, sino también la parte administrativa, de costos, de calidad, de seguridad, etc



4.2 RECOMENDACIONES

- a) Si bien se ha realizado una investigación para el análisis de la productividad para esta obra de construcción específica, se propone como una extensión, la realización de las herramientas propuestas de la mano con la calidad de la productividad con mediciones en campo de trabajos productivos, trabajos contributorios y trabajos no contributorios.
- b) A pesar de la existencia de diferentes métodos para evaluar y controlar la productividad, se necesita tener bien claros los objetivos que se persiguen en la evaluación y control para que la información obtenida de los resultados, sea la requerida para tomar las mejores decisiones, ya sean correctivas o preventivas a corto, mediano y largo plazo para el conveniente desarrollo del proyecto.
- c) Una forma de lograr que el personal realice una labor satisfactoria es demostrando mediante actitudes y/o acciones que se valoran aquellos trabajos con los que se han obtenido buenos resultados. Esto es una forma de motivación, la cual es un factor importante que permite incrementar la productividad y compromiso laboral.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BOTERO BOTERO, LUIS FERNANDO Y ÁLVAREZ VILLA, MARTHA EUGENIA (2004), Guía de mejoramiento continuo, REVISTA Universidad EAFIT, Vol. 40. No. 136. 2004. pp. 50-64
- CATERPILLAR (2010), Manual de rendimiento, edición 40, Illinois, U.S.A.
- GHIO CASTILLO, VIRGILIO (2004) "Productividad en obras de construcción. Diagnóstico, crítica y propuesta", Fondo Editorial de la PUCP, Lima, 196 pp
- GyM S.A. (2008) "Manual de Gestión de Proyectos", Lima.
- KOSKELA, L. (1992) – "Application of the new production philosophy to construction". CIFE Technical Report: 72, Stanford University, USA
- SERPELL B., ALFREDO. (2002) Administración de operaciones de construcción. 2ª ed. México D.F.
- VISION LEAN. <http://www.vision-lean.es>

ANEXO 1

ANEXO 2

ANEXO 3

ANEXO 4

ANEXO 5

ANEXO 6

ANEXO 7

ANEXO 8