

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



**APLICACIÓN DE LEAN CONSTRUCTION A EDIFICIOS DE
RECEPCIÓN FÉRREA**

INFORME DE SUFICIENCIA

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

KERWIN RAMOS VALLE

Lima- Perú

2015

DEDICATORIA

*A Dios por haberme guiado y
acompañado en esta etapa.*

*A mis padres y a mi familia
por todo el amor, cariño y su
apoyo incondicional*

INDICE

RESUMEN	3
LISTA DE CUADROS	4
LISTA DE FIGURAS	5
INTRODUCCIÓN	7
CAPÍTULO I: CONCEPTOS FUNDAMENTALES	8
1.1 LEAN PRODUCTION	8
1.2 LEAN THINKING	10
1.3 LEAN CONSTRUCTION	12
CAPÍTULO II: HERRAMIENTAS LEAN CONSTRUCTION	16
2.1 SECTORIZACION	16
2.2 DIMENSIONAMIENTO DE CUADRILLAS	16
2.3 TRENES DE TRABAJO	19
2.4 LOOKAHEAD	19
2.5 PROGRAMACION SEMANAL Y DIARIA	20
2.6 LECCIONES APRENDIDAS	22
CAPÍTULO III: APLICACIÓN DE LA FILOSOFIA Y HERRAMIENTAS DE LEAN CONSTRUCTION	23
3.1 GENERALIDADES	23
3.1.1 Sectorización	24
3.1.2 Tren de Actividades	31
3.1.3 Dimensionamiento de Cuadrillas	32
3.1.4 Lookahead	34
3.1.5 Plan Semanal y Porcentaje de Cumplimiento	35
3.1.6 Lecciones Aprendidas	37
CAPÍTULO IV: CONSOLIDACION DE LA INVESTIGACION	38
4.1 FLUJO DE PLANIFICACION Y PLANEAMIENTO DE ACTIVIDADES	38
4.2 IMPLEMENTACION Y HERRAMIENTAS DE CONTROL	39
4.3 RESULTADOS OPERATIVOS	39

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	51
5.1 CONCLUSIONES	51
5.2 RECOMENDACIONES	52
BIBLIOGRAFÍA	54

RESUMEN

En la actualidad muchas empresas están poniendo interés en tema de productividad, competitividad y perpetuidad, por lo cual se ven interesadas en la aplicación de nuevas tecnologías y sistemas de gestión.

El presente Informe de Suficiencia tiene como objetivo implementar y aplicar las herramientas de la filosofía Lean Construction dentro de un proyecto.

El concepto más importante de Lean Construction es la eliminación y/o reducción de desperdicios. Para la cual se utilizó las herramientas para una mejor planificación, una buena programación, una mejor operación, un mejor control y una buena retroalimentación.

La planificación que va desde revisar planos, estructurar el plan de ataque, definiendo sistemas constructivos; definir la programación apoyándose de la sectorización, unidades de producción; una mejor operación y control con ayuda del sistema Last Planner, Lookahead; y una buena retroalimentación, son apoyo fundamental para que cualquier proyecto tenga buenos resultados.

Los conceptos y herramientas han sido aplicados dentro este proyecto, siendo muy satisfactoria la aplicación.

LISTA DE CUADROS

Cuadro N°3.1 Metrados de fajas - sectorizado	28
Cuadro N°3.2 Metrado de faja sectorización Muro Faja 1 –Eje D	32
Cuadro N° 3.3 Cuadrilla por partida para Muros Faja 1 – Eje D	33
Cuadro N° 3.4 Metrados de sectorización Muros Faja 1 – Eje C	33
Cuadro N° 3.5 Cuadrilla por partida Muro Faja 1 - Eje C	34
Cuadro N° 3.6 Cuadrilla para Cimentaciones (Faja 1 y 5)	34
Cuadro N° 3.7 Formato de restricciones	34

LISTA DE FIGURAS

Figura N°1.1 Modelo de conversión usado en el siglo XIX (Koskela 1992)	9
Figura N°1.2 Modelo de conversión usado en el siglo XIX (Koskela 1992)	10
Figura N°1.3 Cuadro comparativo de modelos de producción (Koskela 1992)	12
Figura N°2.1 Cuadro de Control de productividad	18
Figura N°2.2 Gráficos de ratios de Productividad	18
Figura N°2.3 Formato de Lookahead	20
Figura N°3.1 Faja 1 y 5	23
Figura N°3.2 Sectorización de fajas	24
Figura N°3.3 Planta de fajas 1 y 5	25
Figura N°3.4 Margen Perfil de fajas 1 y 5	25
Figura N°3.5 Margen Sectorización en planta de faja 1 y 5	26
Figura N°3.6 Margen Visualización 3D de fajas 1,5,2 y 6	26
Figura N°3.7 Faja 2 y 6	27
Figura N°3.8 Faja 3 y 7	27
Figura N°3.9 Faja 5	29
Figura N°3.10 Sectorización en perfil faja 1 – Eje D	29
Figura N°3.11 Sectorización en Perfil Faja 1 (muros) – Eje C	30
Figura N°3.12 Construcción faja 5	30
Figura N°3.13 Sectorización muros faja 5 (Eje B)	31
Figura N°3.14 Sectorización muros faja 5 (Eje A)	31
Figura N°3.15 Tren de actividades Faja 1	32
Figura N°3.16 Tren de actividades Faja 5	32
Figura N°3.17 Lookahead con horizonte tres semanas	35
Figura N°3.18 Formato de control diario de producción	36
Figura N°4.1 Flujo de planeamiento y planificación	38
Figura N°4.2 Boletín de Gestión Semana 5 – Agosto 14	39
Figura N°4.3 Boletín de Gestión Semana 5 – Agosto 14	40
Figura N°4.4 Boletín de Gestión-Costo por interferencia Sema 5- Agosto	41
Figura N°4.5 Boletín de Gestión-Horas Interferencia –Sem 5/Agosto	41
Figura N°4.6 Boletín de Gestión-Costo de Interferencias–Sem 5/Agosto	42
Figura N°4.7 Boletín de Gestión-Horas Interferencias–Sem 5/Agosto	42
Figura N°4.8 Boletín de Gestión – Sem 1/Setiembre	43

Figura N°4.9 Boletín de Gestión – BG Entregado Vs. BG Entregables	43
Figura N°4.10 Boletín de Gestión – Porcentaje de horas en costo	44
Figura N°4.11 Boletín de Gestión – Evolución Semanal	44
Figura N°4.12 Boletín de Gestión – Costo de Interferencias	45
Figura N°4.13 Sectorización – Unidades de Producción	45
Figura N°4.14 Índice de Productividad encofrado de Muros - Recepción Férrea	46
Figura N°4.15 Gráfico de alerta – Recepción Férrea	46
Figura N°4.16 Índice de productividad de concreto Muros Recepción Férrea	47
Figura N°4.17 Gráfico de alerta sobre índices – Recepción Férrea	47
Figura N°4.18 Índice de Acero de Muro – Frente Almacenes	48
Figura N°4.19 Índice de Acero de Muro – Frente Almacenes	48
Figura N°4.20 Índice de Encofrado de Muro – Frente Almacenes	49
Figura N°4.21 Índice de Encofrado de Muro – Frente Almacenes	49
Figura N°4.22 Índice de Concreto de Muro – Frente Almacenes	50
Figura N°4.23 Índice de Concreto de Muro – Frente Almacenes	50

INTRODUCCIÓN

El crecimiento económico que se viene dando en el Perú, se da en gran parte por las exportaciones mineras, esta coyuntura invita a que muchas empresas amplíen y construyan sus instalaciones de exportación, una de ellas es el proyecto: Sistema de Recepción, Almacenamiento y Embarque de Minerales y Amarradero "F" en Bahía Islay, este proyecto implica la construcción de un sistema de Edificios de Recepción Férrea, la cual consta también de unos túneles de recepción y que van a través de fajas transportadoras hacia los Almacenes y posteriormente el mineral es transportado a través de una faja hacia el Muelle, finalizando el proceso con el cargador de barco.

El proyecto en mención es un Fast Track, y siendo los Edificios de Recepción Férrea un frente que tiene espacios reducidos, las estructuras son complejas desde su forma, por ende es necesario aplicar la Filosofía Lean Construction para una mejor administración de los recursos.

CAPÍTULO I: CONCEPTOS FUNDAMENTALES

1.1. LEAN PRODUCTION

La Filosofía Lean Construcción tiene sus cimientos en la industria manufacturera y automotriz, y fue desarrollada en los años 50 por Toyota, basada en su política de justo a Tiempo o cero inventario, producción en lotes pequeños, el control de la calidad total (Edward Deming y Juran).

Así se dio una nueva filosofía de producción, surgiendo en gran medida al ing. Taiichi Ohno de Toyota, y fue denominado de muchas formas en los años 90's, como la fabricación de clase mundial, producción flexible y nuevo sistema de producción. Pero la más usada y conocidas son **Lean Production** o **Toyota Production System**.

El sistema de Producción Toyota debate el sistema tradicional:

$$\text{Precio} = \text{Costo} + \text{Margen}$$

El precio se estima, generando que no se intente reducir los costos de fabricación.

Sistema de Producción Toyota:

$$\text{Precio} - \text{Costo} = \text{Beneficios}$$

El precio es una variable dada por el mercado. Para lograr mayores beneficios se debe reducir los costos de fabricación eliminando o reduciendo los costos improductivos existentes en los procesos, desarrollando mejoramiento continuo apoyado en la observación diaria del trabajo in-situ (Shingo 88)

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 subprocesos, los cuales son también procesos de conversión.
3. El costo global del proceso puede ser disminuido si se minimiza el costo de cada subproceso.
4. El valor del producto final (output) está asociado con el valor de la materia que ingresa (input) a este proceso conversión.

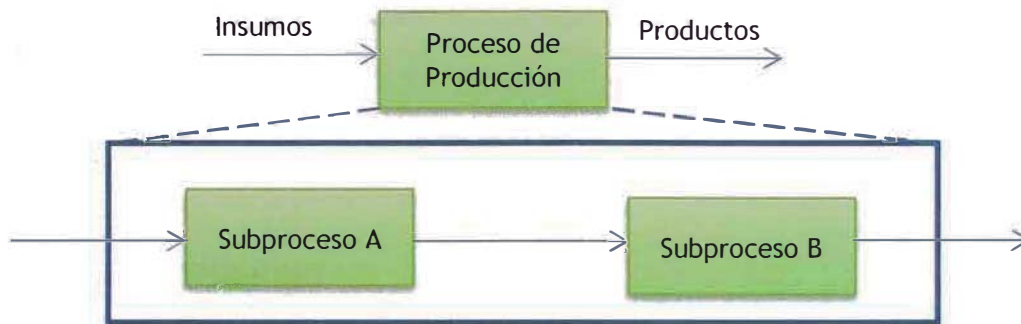


Figura N°1.1. Modelo de conversión usado en el siglo XIX (Fuente Koskela, 1992)

Sin embargo, visto desde este enfoque no se considera el **flujo** (movimientos, transporte, inspecciones, etc) entre las conversiones; flujos que no agregan valor al cliente, actividades que no se analizan y que no permiten ser eliminadas o disminuidas, reduciendo costos y aumentando el beneficio.

Los flujos son considerados en una nueva filosofía, la cual está basada en el Lean Production, en donde la producción de un producto está considerada como un flujo de materiales/información desde los insumos hasta el producto final.

Los procesos son los que representa la **conversión** (agrega valor) en la producción, mientras que las inspecciones, movimientos, esperas, etc. representan el **flujo** (no agrega valor).

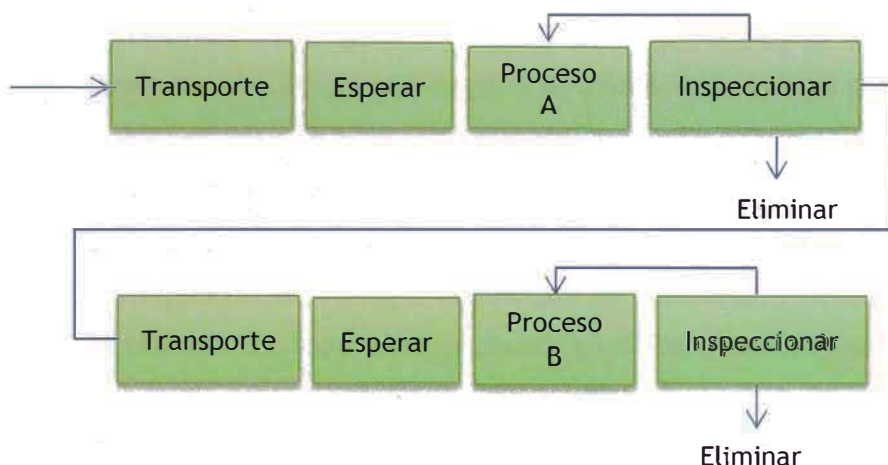


Figura N°1.2 Modelo de conversión usado en el siglo XIX (Fuente Koskela, 1992)

1.2. LEAN THINKING

La base de todo pensamiento Lean, tiene como cimiento el Sistema de Producción Toyota, siendo el principal objetivo de una filosofía Lean eliminar desperdicios y agregar valor. Esta tendencia tiene sus orígenes como “Lean Thinking”.

Se mencionan herramientas y términos del Sistema de Producción Toyota, que son usados para en el “Lean Thinking”

- **Muda** (無駄) – desperdicio, despilfarro, pérdida
- **Kaizen** (改善) – Mejoramiento incremental continuo
- **Kanban** (看板) – Tarjeta, señal
- **Heijunka** (平準化) – Nivelación de la producción

A continuación se mencionan los 5 principios básicos del “Lean Thinking”

❖ **Valor:**

El valor es una información o un producto que está hecho de manera tal que el cliente está dispuesto a pagar por él. De esta manera podemos decir que el valor es definido por el cliente y creado por el productor.

Para que una empresa sea “Lean”, entonces deberá definir el valor desde la perspectiva del cliente y para lograr esto deberá identificar aquellas

actividades que generan valor ya que cualquier actividad que no incrementa el precio que pagaría el cliente, sólo agrega costo al proyecto.

❖ **Identificar el flujo del valor:**

El flujo del valor son todos los procesos, actividades y funciones necesarias para generar el producto desde que es concebido hasta que es entregado al cliente. En todo este proceso se debe identificar y eliminar todo el desperdicio que hubiese.

Para poder identificar el flujo de valor se utiliza la técnica del “Value Stream Map”, que viene a ser la visualización gráfica del camino del producto desde el pedido hasta la entrega.

Al utilizar el “Value Stream Map”, se identificarán dos tipos de desperdicio, uno que se debe eliminar (desperdicio tipo 1 - “Muda”) y otro que es necesario para poder completar el proyecto en tiempo y forma.

- Desperdicio tipo 1: Actividad parcialmente sin valor agregado, pero necesaria para completar las tareas. Sólo agregan costo al proyecto.
- Desperdicio tipo 2 (“Muda”): Actividades que carecen de valor agregado, es decir “Muda” a eliminar.

❖ **Hacer fluir el proceso:**

Debemos reducir los tiempos de demoras en el flujo de valor, esto lo logramos quitando obstáculos del proceso, estos obstáculos podemos entender como la “muda”.

❖ **“Pull” (Jalar):**

Para darle un mayor valor al producto o servicio debemos extraerlo también y sobre todo del cliente, ya que en torno a él es que se genera el producto. Por ello se debe buscar integrar al cliente en el proceso que nos lleva a obtener el producto.

❖ **Mejora Continua:**

Todo proyecto “lean” debe tener un seguimiento constante y siempre en búsqueda de la mejora continua. Teniendo como principio máximo la eliminación de más “muda” en cada mejora.

1.3. LEAN CONSTRUCTION

A principios de los 90 el "International Group of Lean Construction (IGCL) desarrolla un referencial teórico denominado "Lean Construction" o "Construcción sin Pérdidas", este nuevo sistema de construcción propuesto por Koskela (1992), tiene por objetivo mejorar la productividad minimizando o eliminando todas aquellas fuentes de pérdidas en los procesos productivos, que normalmente implican: menor calidad, mayores costos, menor seguridad, entre otros. El ingeniero civil Lauri Koskela sistematizó los conceptos más avanzados de la administración moderna (Benchmarking; Kaizen; Justo a Tiempo etc) junto con la Ingeniería de Métodos y Estudio del Trabajo para reformular los conceptos clásicos de programar y control de obras. En 1993 se realizó el primer taller de LEAN CONSTRUCTION en Espoo (Finlandia), teniendo en cuenta las ideas de Shingo (1988), Schonberger (1990) y Plassl (1991).

Las redes orientadas y cerradas siempre tienen actividades con holguras y el objetivo es convertir dichas actividades en críticas (holgura cero) pero teniendo en cuenta los flujos, los mismos que deben ser reducidos al mínimo con el mejoramiento continuo de la disposición en planta (layout plant) que repercute en una mejora en la producción y por ende en la Productividad.

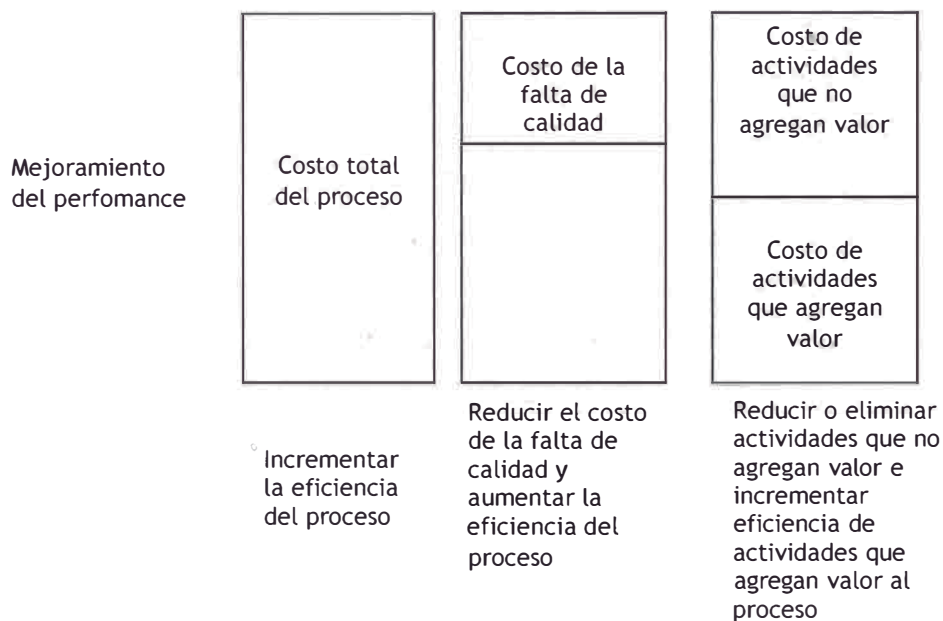


Figura N°1.3 Cuadro comparativo de modelos de producción (Fuente Koskela, 1992)

Son 11 los principios del Lean Construction, que mencionaremos a continuación:

1. Reducir las actividades que no agregan valor al producto:

Son actividades que consumen tiempo, recursos y espacio y generan pérdidas.

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

El valor es generado a través de la satisfacción de los requerimientos del cliente, no como un mérito inherente de la conversión. Para cada actividad hay dos tipos de clientes:

1.-Las siguientes actividades (el cliente de la actividad Colocación fierro columna es el encofrado de dicha columna y de esta el cliente es el concreto)

2.-El cliente final (columna de concreto armado tarrajado y pintado que cumple las normas de calidad y a satisfacción del cliente o usuario final).

3. Reducción de Variabilidad:

Los procesos productivos son variables. Existen diferencia en cualquier par de actividades a pesar de que sean el mismo producto y los recursos empleados para producirlos (tiempo, materia prima, mano de obra). Pero esto debe ser eliminado porque:

1.-Desde el punto de vista del cliente un producto uniforme es mejor.

2.-La variabilidad de la duración de la actividad incrementa el volumen de actividades (aumento del ciclo del proceso) que no agregan valor.

4. Reducir el tiempo de los ciclos:

El tiempo es más usado y universal que el costo y la calidad porque puede ser usado para conducir mejoras en ambos. El flujo productivo se caracteriza por su tiempo o duración de su ciclo.

$$T \text{ ciclo} = T \text{ proceso} + T \text{ inspección} + T \text{ espera} + T \text{ transporte}$$

5. Simplificar mediante la reducción del número de pasos, partes y relaciones

Esto implica reducir:

1. Reducir el número de componentes de un producto.
2. Reducir el número de pasos en un flujo de material o información

6. Aumentar la flexibilidad de Salida:

Flexibilidad de la salida del producto no se contrapone a Simplificación. Uno de los elementos claves es el diseño de productos modulares en conexión con un uso agresivo de otros principios como la reducción del tiempo del ciclo de trabajo y la transparencia.

7. Incrementar la Transparencia de los Procesos:

La falta de transparencia de los procesos incrementa la propensión a errar, reduce la visibilidad de los errores y disminuye la motivación para la mejora.

8. Focalizar el Control en los Procesos Globales o Completos:

Hay dos causas para un control de flujo segmentado:

1. El flujo atraviesa diferentes unidades en una organización jerárquica.
2. El flujo cruza a través de una frontera organizacional. En ambos casos hay riesgo de sub optimización.

9. Introducir la Mejora Continua (Kaizen) en el proceso:

Es el esfuerzo para reducir los desperdicios e incrementar el valor del producto a través de una actividad interna, y creciente, repetitiva, que puede y debe ser llevado a continuamente.

10. Mantener el Equilibrio entre Mejoras en los Flujos y en las Conversiones:

1. A mayor complejidad del proceso de producción, mayor es el impacto del mejoramiento del flujo.
2. A mayor desperdicio inherente a los procesos de producción, mayor es el provecho en la mejora del flujo en comparación a la mejora de conversión.

11. Benchmarking:

Consiste en realizar continuamente un proceso de comparación de la manera en que se desenvuelve la Empresa en general y el Proyecto específico. Fue desarrollado por la Xerox a inicios de la década de 1980 (Michael Spendolini: "Benchmarking")

CAPÍTULO II: HERRAMIENTAS LEAN CONSTRUCCION

Hoy en día existen información y herramientas que nos ayudan a minimizar desperdicios, a evaluar y analizar los flujos y conversiones.

Estas herramientas son:

2.1. Sectorización

- Consiste en dividir una tarea o actividad de la obra en áreas o sectores
- En cada uno de esos sectores se deberá comprender una parte pequeña de la tarea total
- Cada sector deberá comprender un metrado aproximadamente igual (Volúmenes de trabajo)
- La cantidad de tarea por sector deberá ser realizado en el menor tiempo, si es posible en un día

2.2. Dimensionamiento de cuadrillas

El dimensionamiento de cuadrillas consiste en la selección de la cantidad de personal adecuado para la tarea a desarrollar. Comúnmente la selección del personal se realiza con el conocimiento práctico de los responsables de las obras (jefes de campo, maestros de obra o capataces). La selección del personal de acuerdo a este criterio no asegura en lo más mínimo la optimización de la cuadrilla.

Las nuevas técnicas en la gestión de proyectos de construcción sugieren que cada aspecto del sistema de producción sea evaluado para asegurarse de que cumplen con los requisitos que se tenían planteados, y que en el caso del dimensionamiento de las cuadrillas se encuentra en el presupuesto que se realizó para la actividad, y se representa en dos factores:

- Velocidad de Avance
- Productividad

La Velocidad de avance es la cantidad de producción (ml, m2, m3) que se realiza en una unidad de tiempo (horas o día), mientras que el Productividad es la

cantidad de recursos utilizados (hh, hm) para realizar una unidad de producción (ml, m2, m3).

Para el dimensionamiento de las cuadrillas existen 2 técnicas actuales:

- Circuito Fiel
- Curvas de Productividad

2.2.1. Circuito Fiel

El circuito fiel se utiliza en la etapa previa al inicio de la partida y permite analizar si los metros que se obtienen en cada sector generarán ganancia o pérdida en el número de horas-hombre utilizadas, mediante una comparación entre el rendimiento presupuestado y la productividad real (calculado a partir del número de personas propuesto para la cuadrilla) y utilizando el costo empresa promedio de la mano de obra.

Además se usa para poder tomar decisiones de aumento de personal en cualquier momento de la ejecución de la partida, pagos de horas extras, recojo o devolución de materiales y equipos programados (por ejemplo el de encofrado metálico), estimar los bonos de obra para las cuadrillas, etc.

Otro punto importante del circuito fiel es que ayuda a tomar decisiones con números para en el caso de que el tren de trabajo “se caiga”, revisando la cantidad y necesidad de aumentar personal para que la obra no pare y luego puedes ajustar las cuadrillas mediante las cartas de balance.

Actividad		Concrete Horizontales															
N° Personas		3															
Horas Diarias		9.6															
Sf / hh		12															
Día		30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45
HH		28.8	28.8	28.8	28.8	28.8	28.8	28.8	28.8	28.8	28.8	28.8	28.8	28.8	28.8	28.8	28.8
HH _{act}		864	892.8	921.6	950.4	979.2	1008	1036.8	1065.6	1094.4	1123.2	1152	1180.8	1209.6	1238.4	1267.2	1296
Met _{des}	m ³	40	49	42	44	40	49	42	44	40	49	42	44	40	49	42	44
Met _{actm}	m ³	1309	1338	1400	1444	1484	1533	1575	1619	1659	1708	1750	1750	1750	1750	1750	1750
Rend _{des}	hh / m ³	0.72	0.59	0.69	0.65	0.72	0.59	0.69	0.65	0.72	0.59	0.69	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
Rend _{actm}	hh / m ³	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.66	0.67	0.69	0.71	0.72	0.72
Rend _{pres}	hh / m ³	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72

BUFFER						
	1	2	3	4	5	
Dif Rend	0.06	0.05	0.03	0.01	-0.00	-0.02
Dif. hh	108	79	50	22	-7	-36
Sf.	1,296	950	605	259	-86	-432

Figura N°2.1. Cuadro de control de productividad (Fuente: Cesar Guzmán – Columnista del Portal de Ingeniería)

2.2.2. Curvas de Productividad

En la elaboración del circuito fiel se considera que la cantidad de trabajo programada es realizable en una jornada de trabajo (sin horas extra), pero esta suposición puede ser errónea, se puede necesitar más o menos tiempo, lo que puede generar horas extra. Para corregir este dato, se utilizan las curvas de rendimiento, que grafican la evolución del rendimiento, se acuerdo al tareo de horas hombre para una actividad, y donde se observa la variación del rendimiento respecto al rendimiento presupuestado.

Esta curva se elabora a partir de datos que se toman día a día y semana a semana y se puede observar que tan real fue la proyección del circuito fiel.

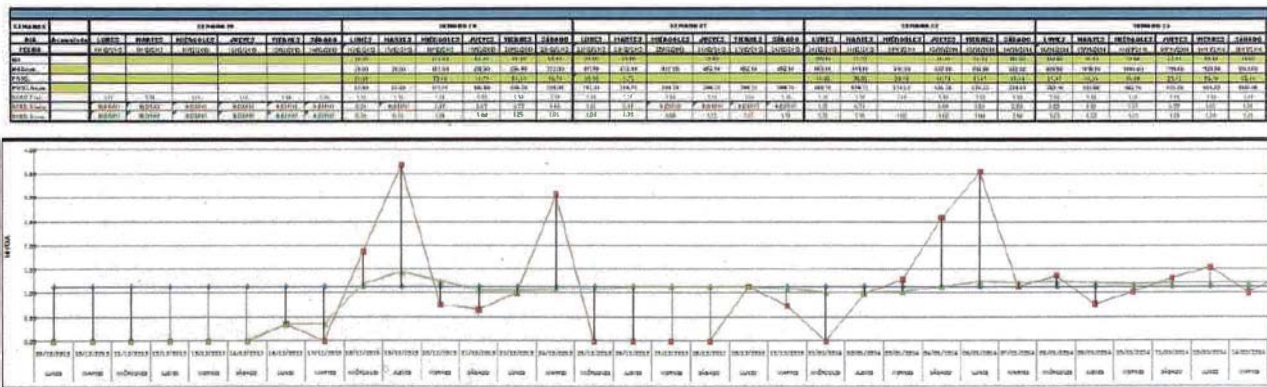


Figura N°2.2 Gráficos de ratios de productividad (Fuente: Cesar Guzmán – Columnista del Portal de Ingeniería)

Las dos herramientas mostradas sirven para un dimensionamiento preliminar de las cuadrillas, pero ambas están enfocadas desde el punto de vista del modelo de conversión, pues no se identifican los flujos que pueden producir los resultados observados.

Para tener en cuenta las actividades que no agregan valor y siguiendo la filosofía Lean Construction de minimización de pérdidas, se utiliza otra herramienta llamada Cartas Balance, esta herramienta consiste en determinar los tiempos que dedica cada miembro de la cuadrilla a las diferentes actividades que forman parte de su trabajo. La importancia de las cartas balance radica en que nos permite apreciar la cantidad de tiempo dedicada a trabajos contributivos y no contributivos, pudiendo identificar puntos importantes de mejora para el trabajo de la cuadrilla. El objetivo final de esta técnica es que el trabajo se realice más inteligentemente y no en aumentar la producción, esto es muy importante pues, si bien nos ayuda a identificar cuadrillas sobredimensionadas, también nos ayuda a incrementar los resultados con el mismo número de personas.

2.3. Trenes de Trabajo

- Está vinculado con la sectorización, y que permite tener una mejor visión para la producción en cadena.
- Las actividades (procesos) se consideran como una estación de trabajo.
- Se busca que todas las estaciones estén balanceadas en capacidad y demanda.
- Todos los procesos son cuello de botella, todas las actividades son Ruta Crítica.
- Todos los días, cada cuadrilla produce lo mismo.

2.4. Lookahead

El control de flujo de trabajo dentro del sistema de planificación se lleva mediante la Planificación Intermedia o Lookahead Planning.

En el proceso de Lookahead Planning, se propone una visión de 4 a 6 semanas o según sea determinado por el equipo de la obra.

En esta etapa se detalla y ajusta el presupuesto del cronograma, arrastrando recursos hacia la obra y protegiendo actividades para las que probablemente los recursos no estén disponibles. En este nivel se analizan las restricciones futuras.

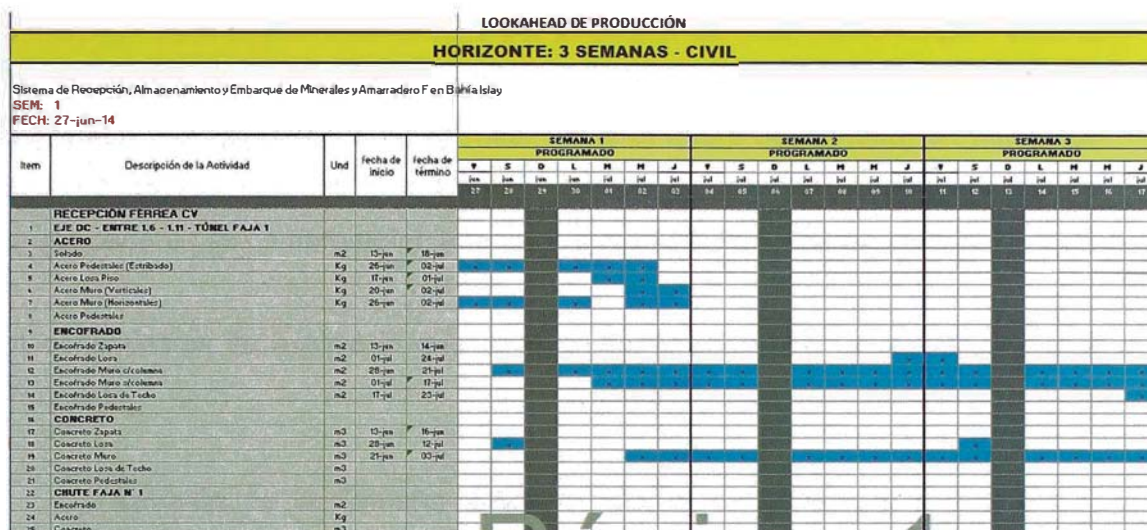


Figura N°2.3 Formato de Lookahead (Fuente Propia)

2.5. Programación Semanal y Diaria

Planificación que presenta el mayor nivel de detalle antes de realizar un trabajo. Es realizable por diseñadores, capataces subcontratos y otras personas que supervisan directamente la ejecución. En esta planificación se selecciona lo que DEBE realizarse para completar el trabajo y se decide lo que SERÁ hecho, dentro de este marco se selecciona lo que PUEDE ser hecho a modo de compromiso para la semana siguiente. Semana a semana se revisan los compromisos cumplidos y se genera el índice de Porcentaje del Plan Completado (PPC), calculado como se muestra en la ecuación 1.

$$PPC = \frac{\sum \text{Actividades completadas}}{\sum \text{Actividades programadas}} \times 100$$

Cuando las actividades comprometidas no son completadas se determinan las CNC y sus responsables. Estas son llevadas estadísticamente para mantener un registro histórico y planear acciones correctivas.

El Sistema Last Planner llevado a la práctica durante las reuniones de planificación semanales posee algunos factores que deben ser considerados al momento de implementar este sistema de planificación (Sabbatino 2011):

Una buena reunión debe ser rápida y fluida para lograr los objetivos que se necesitan. La duración óptima debe ser alrededor de 1:00-1:30 hrs., para esto se debe segmentar la reunión en tres etapas bien definidas: análisis de lo transcurrido en el pasado, luego mirar hacia el futuro (lookahead) en búsqueda de nuevas restricciones y finalmente revisar el presente donde los últimos planificadores se comprometen a realizar tareas para el próximo período.

A continuación se explica lo que debe contener cada una de las etapas de la reunión:

- a) Revisión de la Semana anterior: Esta etapa dentro de la reunión de planificación, se recomienda que debe durar alrededor de un 25% del tiempo del total de la reunión, donde principalmente se debe hacer un análisis minucioso del Porcentaje del Plan Completado (PPC). También se deben revisar las Causas de No Cumplimiento (CNC) para luego tomar las Acciones Correctivas (AC) para evitar situaciones similares en el futuro.
- b) Revisión del Plan de Mediano Plazo: Esta parte de la reunión debe ser una de las más importantes, ya que es donde se pueden detectar posibles dificultades y problemas a futuro. Los implementadores de Last Planner experimentados recomiendan que el Plan de Mediano Plazo se revise antes del Plan de Corto Plazo (PCP), ya que es donde se pueden visualizar las restricciones que se tendrán a largo plazo para tenerlas presente, durante el posterior análisis del Plan de Corto Plazo. Una vez detectadas las restricciones se deben generar compromisos por parte de los participantes para lograr su gestión y liberación en una fecha definida. También se debe hacer una actualización de las actividades del plan de lookahead y el reordenamiento del trabajo según corresponda para preparar el trabajo que se ejecutará en el futuro PCP. Esta etapa debe ocupar el 50% del tiempo de la reunión.
- c) Revisión del Plan de Corto Plazo: Por último, se debe examinar el período de corto plazo siguiente. Se deben comprometer avances por parte de los participantes según lo programado (lo que se “debe” cumplir según el programa) y lo que efectivamente se puede lograr (lo que se

hará según las condiciones). Estos compromisos se revisarán y analizarán en el próximo período.

2.6. Lecciones aprendidas

Es lo que se asimila durante un proyecto y estas enseñanzas pueden ser identificadas en cualquier momento del proyecto. Para que éstas queden aprendidas han de ser registrarse como una base de conocimiento para que pueda ser revisada y estudiada en ocasiones futuras.

CAPÍTULO III: APLICACIÓN DE LA FILOSOFIA Y HERRAMIENTAS DE LEAN CONSTRUCTION

3.1. GENERALIDADES

El proyecto “Sistema de Recepción, Almacenamiento, y Embarque de concentrado de minerales en Amarradero “F” en Bahía Islay” consta principalmente de dos edificios de Recepción Férrea, un edificio de Recepción Camionera, túneles de recepción, túneles Embarque, dos almacenes, un puente de acceso y un Muelle.

La estructura de estudio es un edificio de Recepción Férrea: la cual consta del edificio en mención (incluye parte civil, mecánica, eléctrica, etc), túneles de recepción, y el sistema de tierra armada.

El edificio consta de una losa de piso la cual recibe al convoy ferroviario; la cobertura FRP y la estructura metálica se apoyan en columnas de altura variable y que comparte con los dos túneles debajo del nivel del edificio. La longitud de los túneles son de 40 m y 67 m, la altura de los túneles son variables desde los 6 metros hasta los 13 metros. El tiempo de ejecución es de 4 meses



Figura N°3.1. Faja 1 y 5 (Fuente Proyecto Matarani)

Lo primero que se realizó fueron las excavaciones.

De acuerdo a las características del frente y de la estructura lo primero en realizarse es la sectorización de esta infraestructura, y se aplicó las herramientas del Lean Construction:

3.1.1. Sectorización

El primer tramo a sectorizar fueron los dos túneles de las Faja N°01 y Faja N°05, los cuales fueron también en completar la excavación al 100% para tener accesos de equipos, materiales, tránsito de mano de obra.

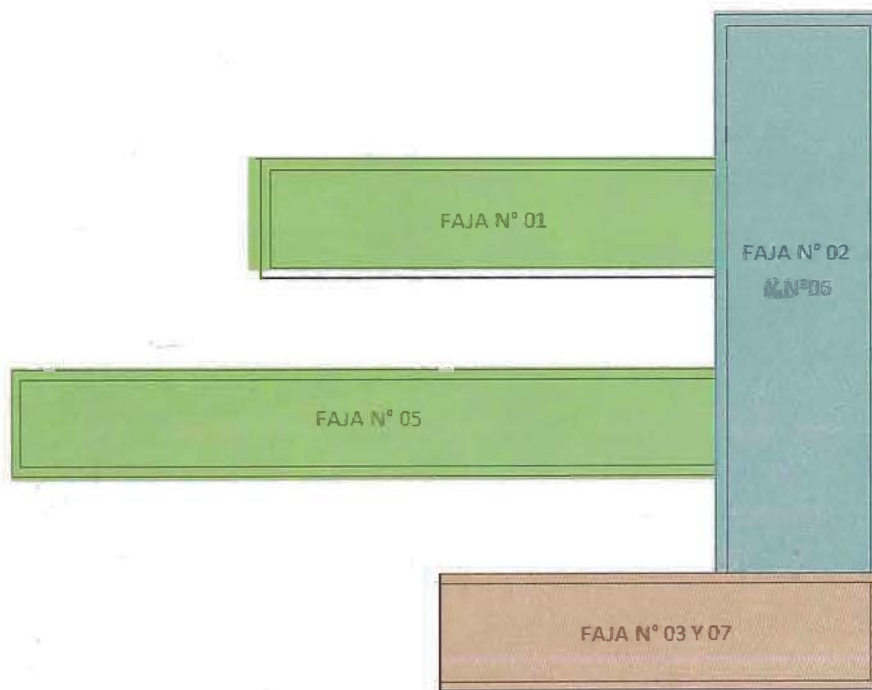


Figura N°3.2. Sectorización de Fajas (Fuente propia)

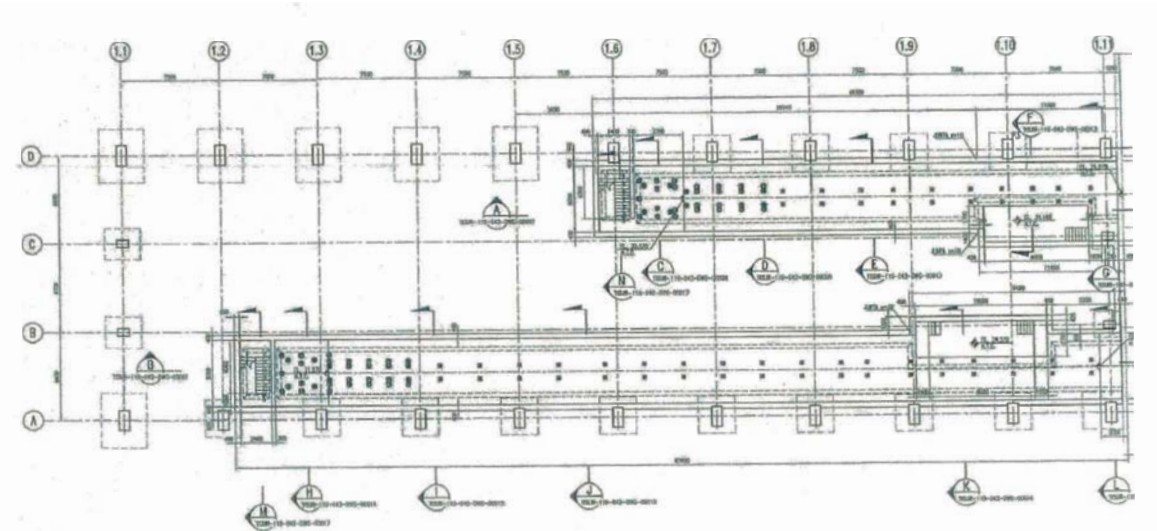


Figura N°3.3 Planta de Fajas 1 y 5 (Fuente Proyecto Matarani)

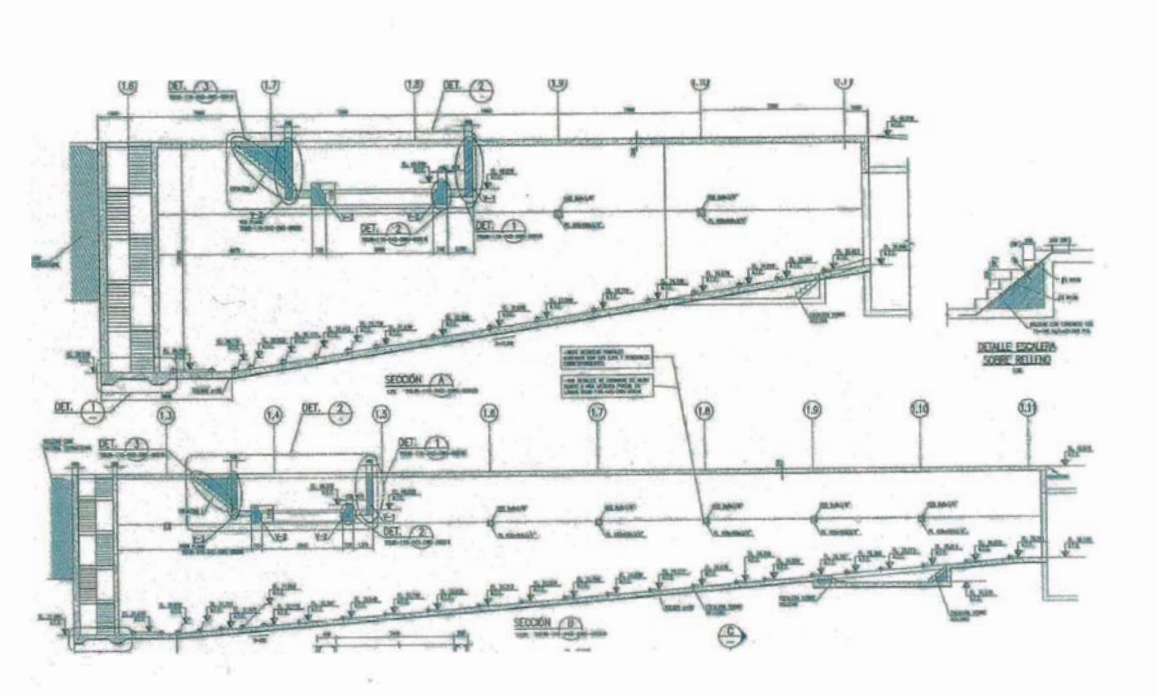


Figura N°3.4. Perfil de Fajas 1 y 5 (Fuente Proyecto Matarani)

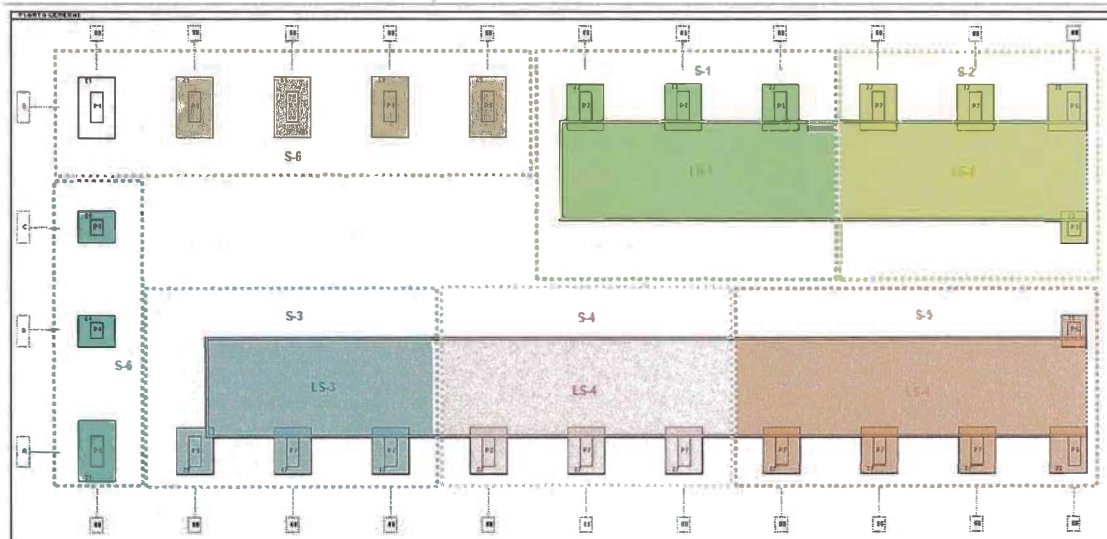


Figura N°3.5. Sectorización en planta de Faja 1 y 5 (Fuente propia)

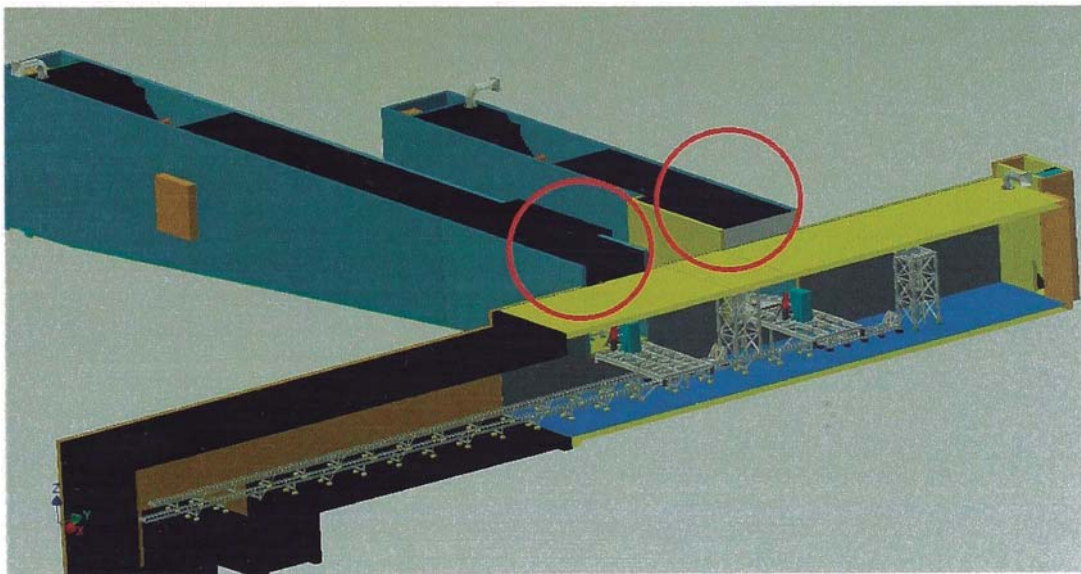


Figura N°3.6. Visualización 3D de Fajas 1, 5, 2 y 6 (Fuente Proyecto Matarani)



Figura N°3.7. Faja 2 y 6 (Fuente Proyecto Matarani)



Figura N°3.8. Faja 3 y 7 (Fuente Proyecto Matarani)

De acuerdo a la sectorización se calcularon los metrados para determinar así las unidades de producción a ejecutar, así como también determinar las cuadrillas, la mano de obra, y el requerimiento de personas, materiales, y tener una programación.

Cuadro 3.1 Metrados de Fajas – Sectorizado (Fuente propia)

EDIFICIO		
Acero	kg	70,834.08
Encofrado	m ²	1,439.17
Concreto	m ³	820.33

TÚNELES - FAJA 1 Y FAJA 5		
Acero	kg	144,171.75
Encofrado	m ²	5,343.86
Concreto	m ³	1,441.35

TÚNELES - FAJA 2 Y FAJA 6		
Acero	kg	97,725.00
Encofrado	m ²	2,983.00
Concreto	m ³	1,026.70

TÚNELES - FAJA 3 Y FAJA 7		
Acero	kg	63,814.00
Encofrado	m ²	1,488.00
Concreto	m ³	519.83

Al tenerse los metrados totales por cada Faja, se procedió a disgregar en unidades de producción:

3.1.1.1. Faja N°01

- **Placas sin columnas**

Túnel de concreto armado de 40.3 metros, de altura variable desde los 6.7 metros a los 12 metros, con una pendiente de 16%, teniendo como estructura una losa de piso, placas, y losa de techo, todas con $f'c=280$ kg/cm².



Figura N°3.9. Faja 5 (Fuente Proyecto Matarani)

Se tomó como unidad de producción de placas, tomando 3.5 metros de cada eje hacia ambos lados, como muestra la figura, un lado de la cara del túnel comparte la columna que es del Edificio de Recepción, y el otro lado está sin el elemento mencionado, por ende se ha considerado unidades de producción con diferente volumen de trabajo.



Figura N°3.10. Sectorización en perfil faja 1 - Eje D (Fuente propia)

De acuerdo a lo planteado, se calcularon los volúmenes de trabajo de acero, encofrado, y concreto, lo que servirá para calcular el personal a requerir.

- **Faja N°01 - Placas con columnas**

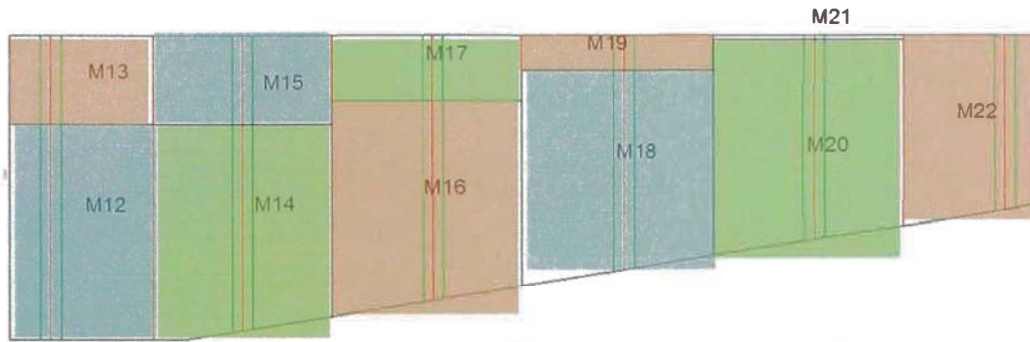


Figura N°3.11. Sectorización en Perfil Faja 1 (muros) – Eje C (Fuente propia)

3.1.1.2. Faja N°05

- **Placas sin columnas**

Túnel de 67.8 metros, de altura variable desde los 6.4 metros hasta los 11 metros con una pendiente de 7.6%, teniendo como estructura una losa de piso, placas, y losa de techo, todas con $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$. La particularidad de este túnel es que se estima mejor rendimiento de las cuadrillas debido a que la pendiente es menor, se tiene mayor área de trabajo a ejecutar.



Figura N°3.12. Construcción faja 5 (Fuente Proyecto Matarani)

Se tomó como unidad de producción de placas, tomando 3.5 metros de cada eje hacia ambos lados, como muestra la figura, un lado de la cara del túnel comparte la columna que es del Edificio de Recepción, y el otro lado está sin el elemento mencionado, por ende se ha considerado unidades de producción con diferente volumen de trabajo

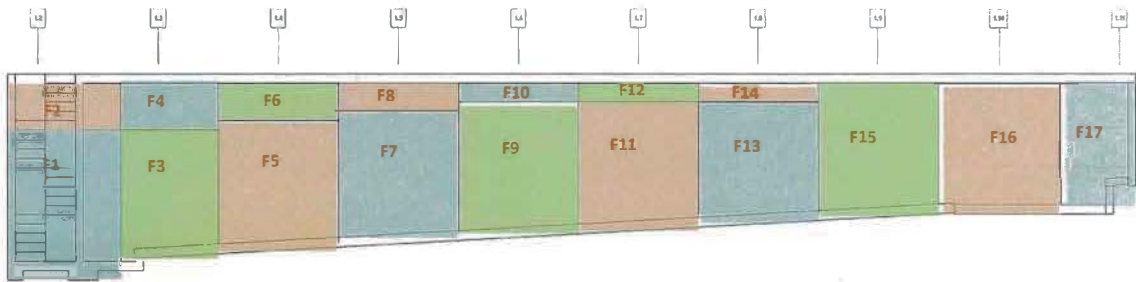


Figura N°3.13. Sectorización muros faja 5 -Eje B (Fuente propia)

▪ **Placas con columnas**

Esquema de Placas con columnas en Faja N°05

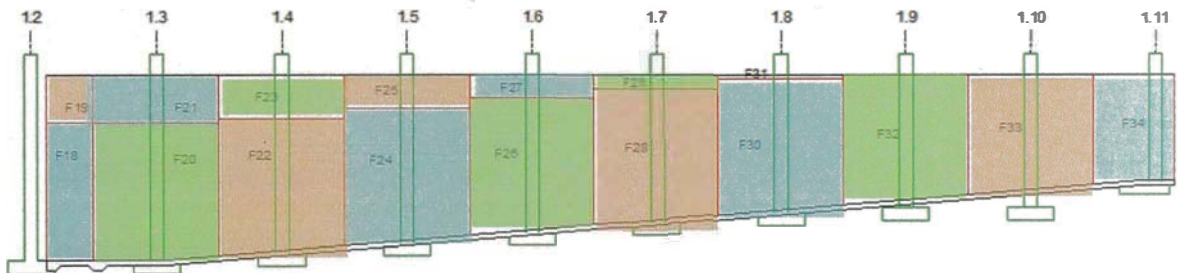


Figura N°3.14. Sectorización Muros Faja 5 - Eje A (Fuente propia)

3.1.2. Tren de Actividades

Esta parte del trabajo debe estar ligado al cronograma contractual, y a las metas internas que se propone el equipo de obra. Definido las unidades de producción se procedió a programar las secuencias de trabajo con cada unidad por partida. En principio se trabajó con un tren de actividades base, que fue el arranque de toda esta programación.

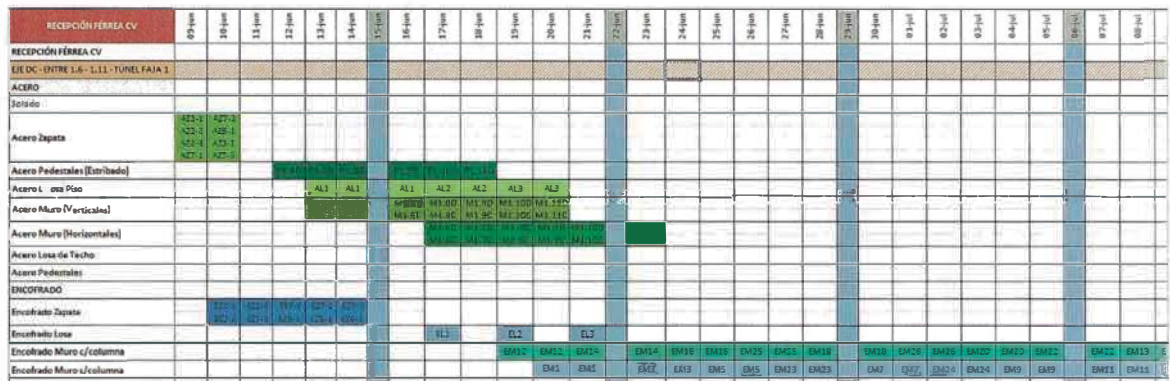


Figura N°3.15. Tren de Actividades Faja 1 (Fuente propia)

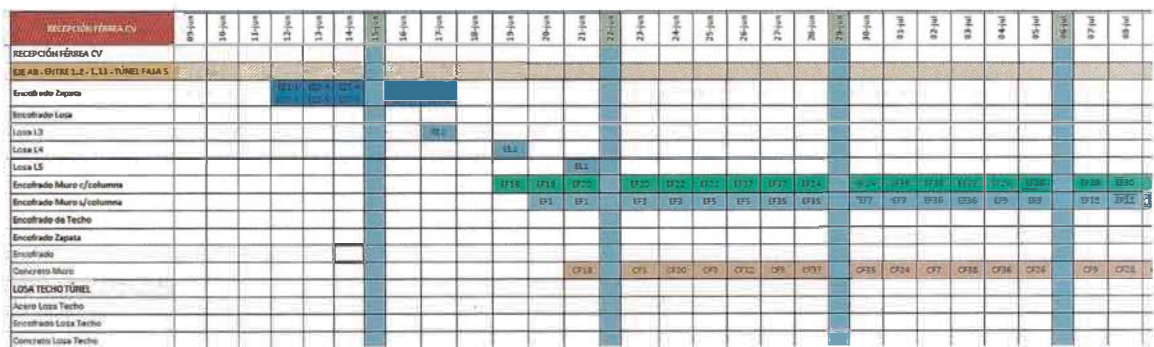


Figura N°3.16. Tren de Actividades Faja 5 (Fuente propia)

3.1.3. Dimensionamiento de Cuadrillas

Definida la sectorización, teniendo en cuenta el plazo contractual, las metas internas, se obtuvo el tren de actividades, y de acuerdo a ello se calculó el número de personas necesarias para ejecutar la actividad en el plazo y costo requerido.

- Metrado de Faja 01 sin columna

Cuadro 3.2 Metrados de Sectorización Muros Faja 1 – Eje D (Fuente propia)

Faja N°01			
Producto	Concreto	Encof	Acero
M1	19.0	95.2	1,428.0
M2	7.8	39.2	588.0
M3	22.7	113.7	3,184.7
M4	9.8	49.0	1,372.0
M5	23.7	118.5	2,487.7
M6	7.7	38.7	813.1

M7	23.7	118.5	2,487.7
M8	4.2	20.8	436.0
M9	24.8	124.0	2,678.0
M10	0.5	2.6	56.2
M11	15.9	79.5	1,717.2

Con los metrados, los ratios, y la experiencia de los ingenieros de campo se calculó la cuadrilla para cada unidad de producción, siendo ésta la siguiente:

Cuadro 3.3. Cuadrilla por partida para Muros Faja 1 – Eje D (Fuente propia)

Cuadrilla - Sin columna				
	Concreto	Encofrado	Acero	
	2 op	6 op	8 op	
	2 of	2 of	2 of	
	1 peon	2 peon	2 peon	
Total	5	10	12	27

- Medrado de la Faja N°01 incluyendo la columna

Cuadro 3.4. Metrados de Sectorización Muros Faja 1 - Eje C (Fuente propia)

Faja N°01 + Columna			
Producto	Concreto	Encof	Acero
M12	29.2	134.3	2,937.5
M13	13.5	60.8	1,422.7
M14	32.9	152.8	4,695.6
M15	15.0	69.0	2,145.2
M16	33.9	157.6	4,013.6
M17	11.5	53.3	1,380.4
M18	33.9	157.6	4,027.7
M19	6.5	29.8	792.9
M20	34.0	157.9	4,122.4
M21	1.5	6.2	199.0
M22	24.5	111.1	3,099.6

Este requerimiento de personas se calculó de acuerdo a la programación base que se detalla en la parte de Tren de Actividades.

Cuadro 3.5. Cuadrilla por partida Muro Faja 1 - Eje C (Fuente propia)

Cuadrilla + Columna				
	Concreto	Encofrado	Acero	
	2 op	8 op	8 op	
	2 of	4 of	4 of	
	1 peon	2 peon	2 peon	
Total	5	14	14	33

De igual forma se calculó el personal que se requeriría para construir las zapatas.

Cuadro 3.6. Cuadrilla por partida Muro Faja 1 - Eje C (Fuente propia)

Cuadrilla de Zapatas				
	Concreto	Encofrado	Acero	
	2 op	2 op	4 op	
	1 of	2 of	4 of	
	1 peon			
Total	4	4	8	16

3.1.4. Lookahead

Con el tren de actividades planteado, las herramientas Lean como el Lookahead permiten tener un mejor panorama de lo que se puede hacer. En el proyecto en mención se coordina reuniones para analizar las restricciones, éstas se realizan todos los lunes a las 02 pm.

Cuadro 3.7. Formato de Restricciones (Fuente propia)

Item	Descripción de la Actividad	Descripción de la Restricción	Fecha Requerida en Obra	Responsable	
				Area	Personal

Con el análisis de restricciones se procede a programar en una ventana de 3 a 4 semanas, dependiendo de la variabilidad de las actividades.

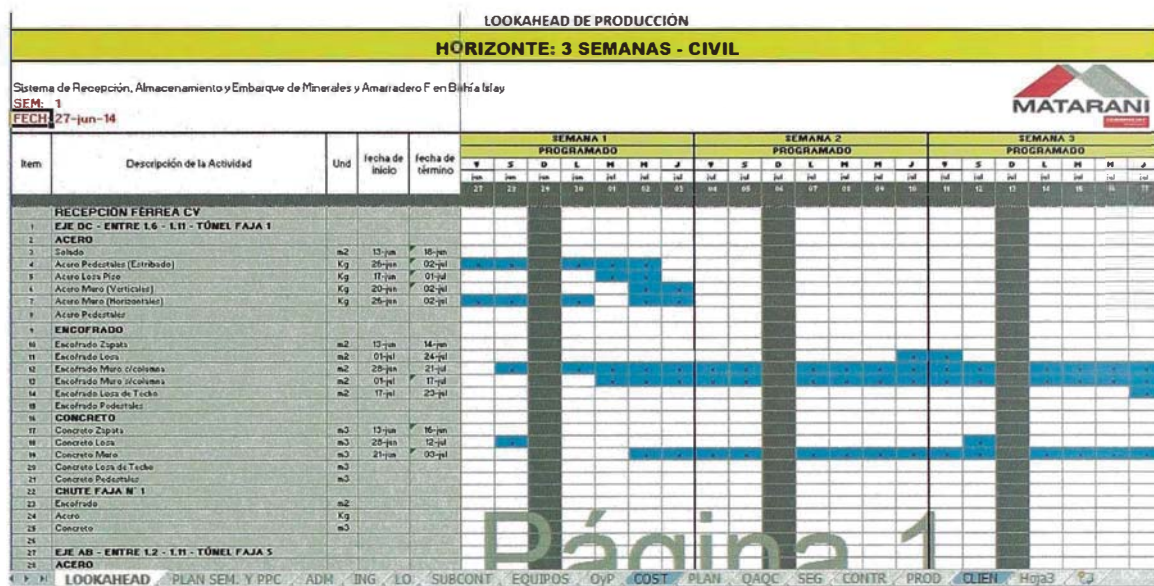


Figura N°3.17. Lookahead con horizonte tres semanas (Fuente: Proyecto Matarani)

3.1.5. Plan Semanal y Porcentaje de Cumplimiento

Este proyecto se desarrolla dentro de la clasificación de Fast Track, por lo cual muchas veces los detalles de ingeniería no están definidos, además del poco tiempo de entrega que se le atribuye a estos proyectos, teniendo como consecuencia que muchas veces todo lo planeado no se cumpla. Es por eso que además del lookahead se tiene un plan semanal, en la cual se debe realizar todos los esfuerzos por cumplir lo programado.

El control diario de las actividades se registrará de acuerdo al siguiente formato:

3.1.6. Lecciones Aprendidas

La obra que se viene ejecutando pertenece dentro de la organización al área de obras marítimas, dentro de este rubro se viene practicando las lecciones aprendidas, en la cual los integrantes que han participado en anteriores proyectos similares exponen y dan a conocer las complicaciones que tuvieron y lo errores que cometieron. El área encargada de ejecutar estas reuniones es CALIDAD, las cuales no solo van a las áreas operativas sino también a las áreas de apoyo como: oficina técnica, recursos humanos, seguridad, logística, administración.

CAPÍTULO IV: CONSOLIDACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

4.1. Flujo de Planificación y Planeamiento de actividades

Aplicado los principios y conceptos de la Filosofía Lean, se propone un flujograma de actividades antes de empezar la construcción.

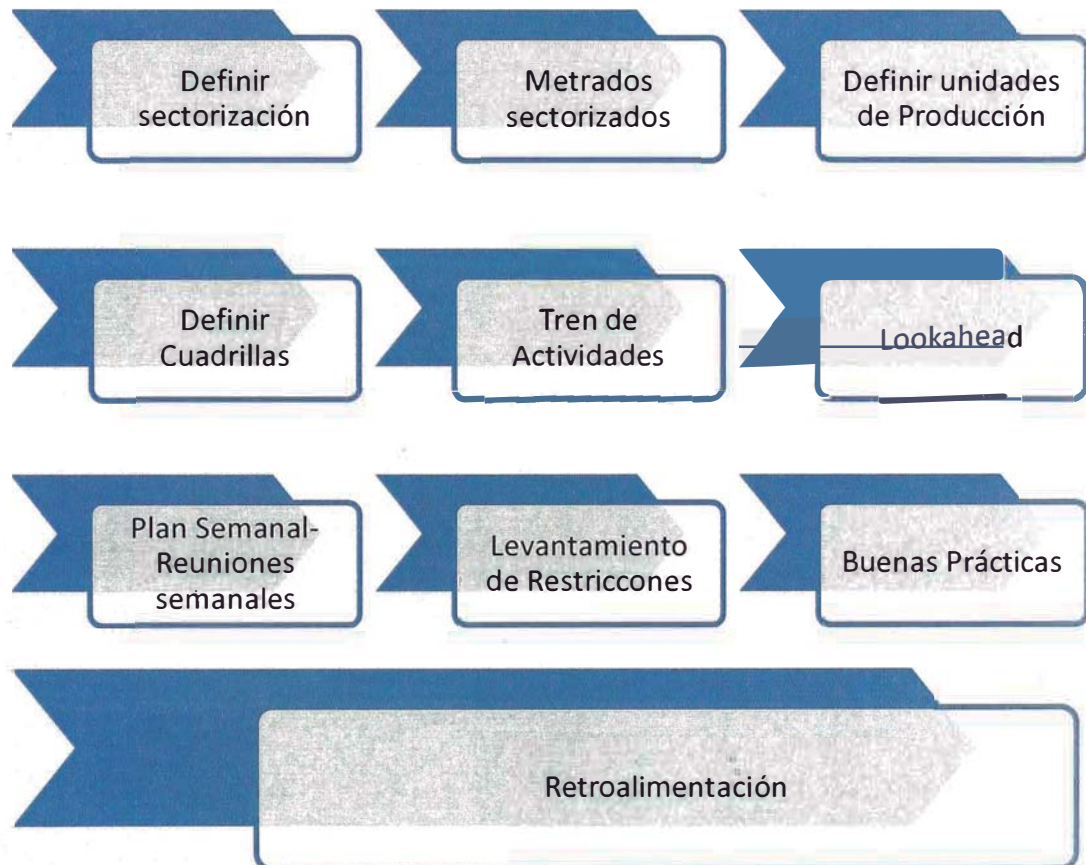


Figura N°4.1. Flujo de planeamiento y planificación (Fuente propia)

4.2. Implementación de Herramientas de control

Adicional a las herramientas brindadas por el Lean, por la necesidad de la Gerencia de Obra y de la Organización se ha implementado un programa de productividad que va de la mano con los principios del Lean Construction. Herramientas que identifican las interferencias, la cuantifican en tiempo y costos, y que son alertadas a cada frente, adicional a eso se realizó un nuevo formato de los índices de productividad.

4.2.1. Boletines de Gestión

Son formatos que ayudan a los capataces a registrar las interferencias o retrasos en la ejecución de sus actividades. En estos formatos se registran las HH por inasistencia, por falta de equipos, inoperatividad de equipo, los retrabajos, atrasos por liberación, personal en stand by por falta de mixer, etc. Lo mencionado antes es evaluado y es responsabilidad de cada jefe de campo realizar todos los esfuerzos por que esto se minimice.

4.2.2. Índices de Productividad

Semanalmente estos índices son enviados al área de Producción con las HH gastadas por unidad de producción, con el fin de alertar las posibles anomalías o excesos que se están incurriendo dentro del frente u obra.

4.3. Resultados Operativos

Con todo lo mencionado anteriormente se presenta los resultados en productividad, tiempo y costo.

Se adjunta un cuadro de los Boletines de Gestión:

- Boletín de Gestión de Semana 5 de Agosto 14 (25/08/14 al 31/08/14)

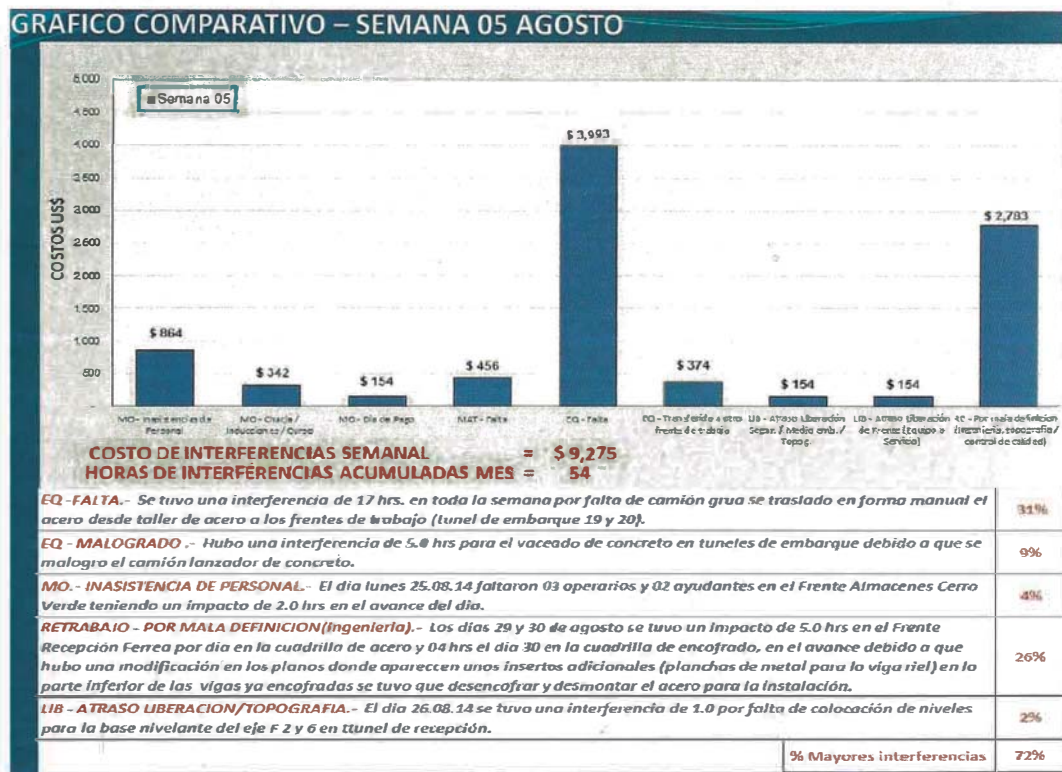


Figura N°4.2. Boletín de Gestión Semana 5 – Agosto 14 (Fuente Proyecto Matarani)

En el cuadro mostrado se presenta la mayor interferencia, por falta de equipo Camión Grúa 31%, y el otro porcentaje significativo fue el 26% por re trabajos causados por la mala definición de insertos dentro del concreto.

En el presente cuadro se muestra los Boletines entregados Vs los Boletines a entregar. Presentando un caso de 02 no entregados

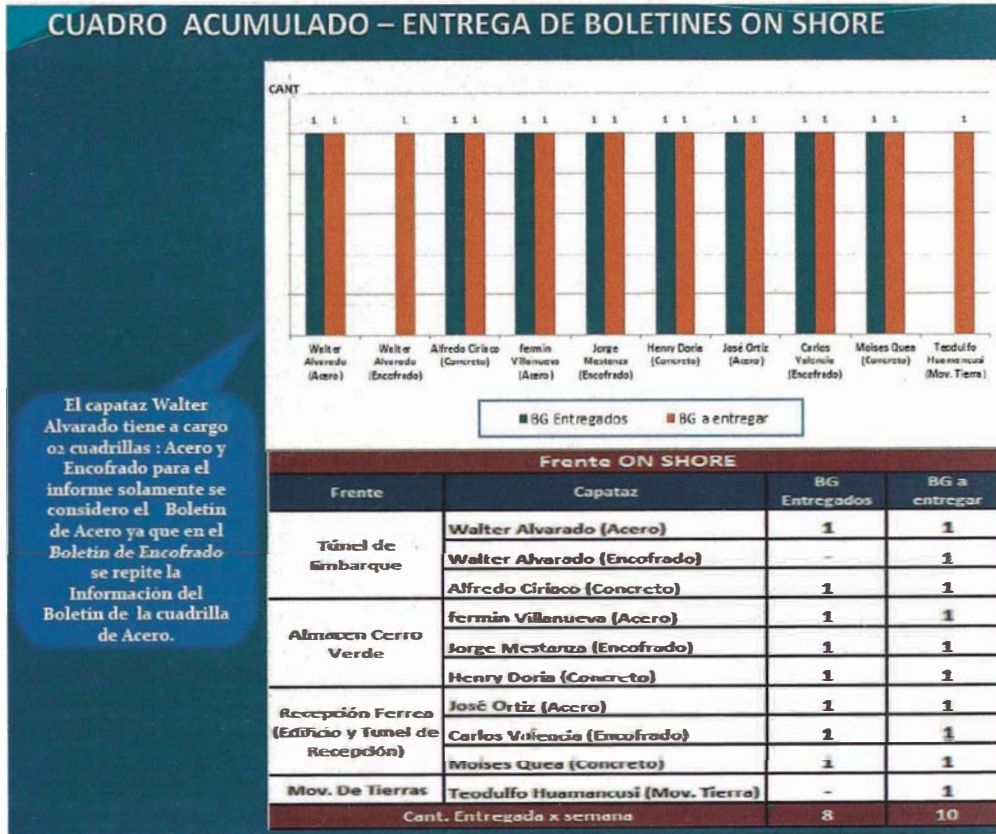


Figura N°4.3. Boletín de Gestión Semana 5 – Agosto 14 (Fuente Proyecto Matarani)

En el siguiente cuadro se muestra el costo por las interferencias, lo cual en la semana 05 de Agosto representó el 11% del costo total.



Figura N°4.4. Boletín de Gestión-Costo por interferencia Sema 5- Agosto (Fuente Proyecto Matarani)

En el siguiente cuadro se muestra un comparativo por frente, siendo el Edificio de Recepción Férrea CV con más horas de interferencia, una de las características de esta estructura es que presenta muchos detalles de electromecánica que muchas veces no aparecen en los planos civiles.

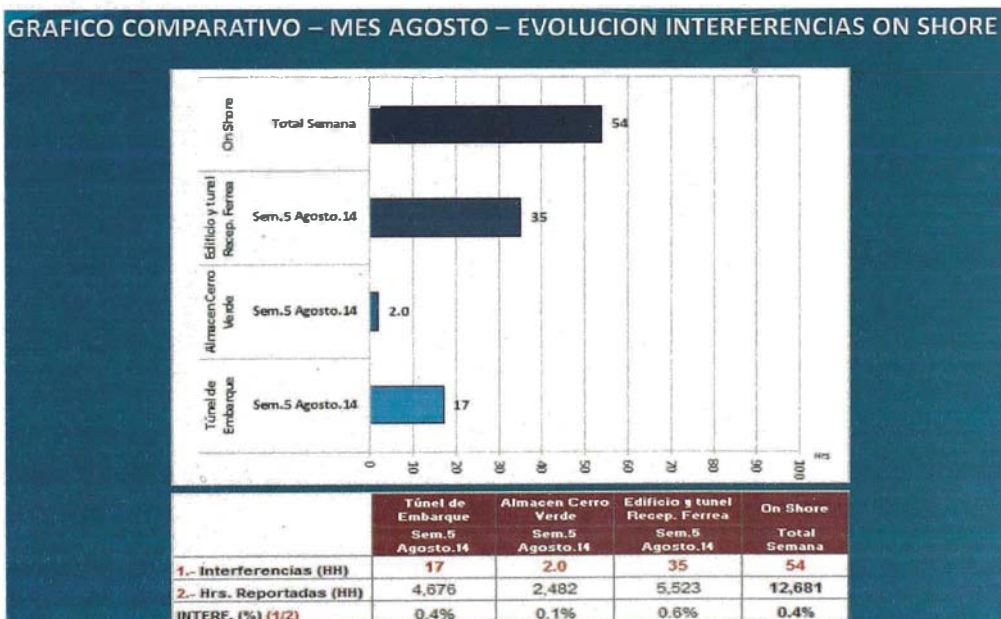


Figura N°4.5. Boletín de Gestión-Horas Interferencia –Sem 5/Agosto

En el siguiente cuadro se muestra el costo de interferencia por cada recurso.

FRENTE ON SHORE – LUIS GARIBALDI									
GRAFICO : COSTO SEMANAL DE LAS HORAS DE INTERFERENCIAS									
SEMANA 05	LUIS GARIBALDI								
	Túnel DE EMBARQUE			ALMACEN CERRO VERDE			RECEPCIÓN FERREA CV EDIFICIO + TÚNEL		
INTERFERENCIAS / FRENTE	Walter Alvarado (Acero)	Walter Alvarado (Escarificado)	Alfredo Clifase (Concreto)	Maria Villanueva (Acero)	Jorge Mastuana (Escarificado)	Henry Dorla (Concreto)	José Orbiz (Acero)	Carlos Valencia (Escarificado)	Moises Quea (Concreto)
	Costo por Cuadrilla - Hb/T	124.7	0.0	120.7	182.1	188.0	190.2	187.2	227.8
COSTO INTERFERENCIAS - USD \$									
(1) MANO DE OBRA :									
1.01 - Inasistencia de Personal	-	-	-	-	375.99	-	374.40	113.91	-
1.03 - Charla / Inducciones / Curso	-	-	-	-	-	-	-	341.72	-
1.05 - Día de Pago	-	-	-	-	-	-	-	-	154.27
(2) MATERIAL:									
2.01 - Falta	-	-	-	-	-	-	-	455.62	-
(4) EQUIPOS:									
4.01 - Falta	2 119	-	-	-	-	-	-	1 025.1	848.47
4.04 - Transferido a otro frente de trabajo	-	-	-	-	-	-	374.40	-	-
(5) LIBERACIONES:									
5.02 - Liberación Seguridad/Medio amb. /Topog	-	-	-	-	-	-	-	-	154.27
5.05 - Liberación de Frente (Equipo o Servicio)	-	-	-	-	-	-	-	-	154.27
(8) RETRAJAJOS									
8.02 - Por mala definición (ing. Topog, Calidad)	-	-	-	-	-	-	1,872	911.24	-
Total Horas x Capataz	2119.4	0.0	0.0	0.0	376.0	0.0	2880.8	2847.6	1311.3
Total Horas x Responsable		\$ 2,119.4			\$ 376.0			\$ 6,779.7	

Figura N°4.6. Boletín de Gestión-Costo de Interferencias–Sem 5/Agosto (Fuente Proyecto Matarani)

Y en el presente cuadro se muestra las horas por cada recurso y en qué frente sucedió.

PRE FABRICADOS ON SHORE – LUIS GARIBALDI									
GRAFICO DE INTERFERENCIAS EN HORAS - MES AGOSTO									
SEMANA 05	LUIS GARIBALDI								
	Túnel DE EMBARQUE			ALMACEN CERRO VERDE			RECEPCIÓN FERREA CV EDIFICIO + TÚNEL		
INTERFERENCIAS / FRENTE	Walter Alvarado (Acero)	Walter Alvarado (Escarificado)	Alfredo Clifase (Concreto)	Maria Villanueva (Acero)	Jorge Mastuana (Escarificado)	Henry Dorla (Concreto)	José Orbiz (Acero)	Carlos Valencia (Escarificado)	Moises Quea (Concreto)
	% AVANCE SEMANAL	84%	0%	88%	100%	100%	100%	93%	100%
HORAS INTERFERENCIAS HH									
(1) MANO DE OBRA :									
1.01 - Inasistencia de Personal	-	-	-	-	2.00	-	2.00	0.50	-
1.03 - Charla / Inducciones / Curso	-	-	-	-	-	-	-	1.50	-
1.05 - Día de Pago	-	-	-	-	-	-	-	-	1.00
(2) MATERIAL:									
2.01 - Falta	-	-	-	-	-	-	-	2.00	-
(4) EQUIPOS:									
4.01 - Falta	17.00	-	-	-	-	-	-	1.50	5.50
4.04 - Transferido a otro frente de trabajo	-	-	-	-	-	-	2.00	-	-
(5) LIBERACIONES:									
5.02 - Liberación Seguridad/Medio amb. /Topog	-	-	-	-	-	-	-	-	1.00
5.05 - Liberación de Frente (Equipo o Servicio)	-	-	-	-	-	-	-	-	1.00
(8) RETRAJAJOS									
8.02 - Por mala definición (ing. Topog, Calidad)	-	-	-	-	-	-	10.00	4.00	-
Total Horas x Capataz	17.0				2.0		14.0	12.5	8.5
Total Horas x Responsable		17.00			2.00			35.00	

Figura N°4.7. Boletín de Gestión-Horas Interferencias–Sem 5/Agosto (Fuente Proyecto Matarani)

- Boletín de Gestión – Semana 1 Setiembre (01/09/14 al 06/09/14)

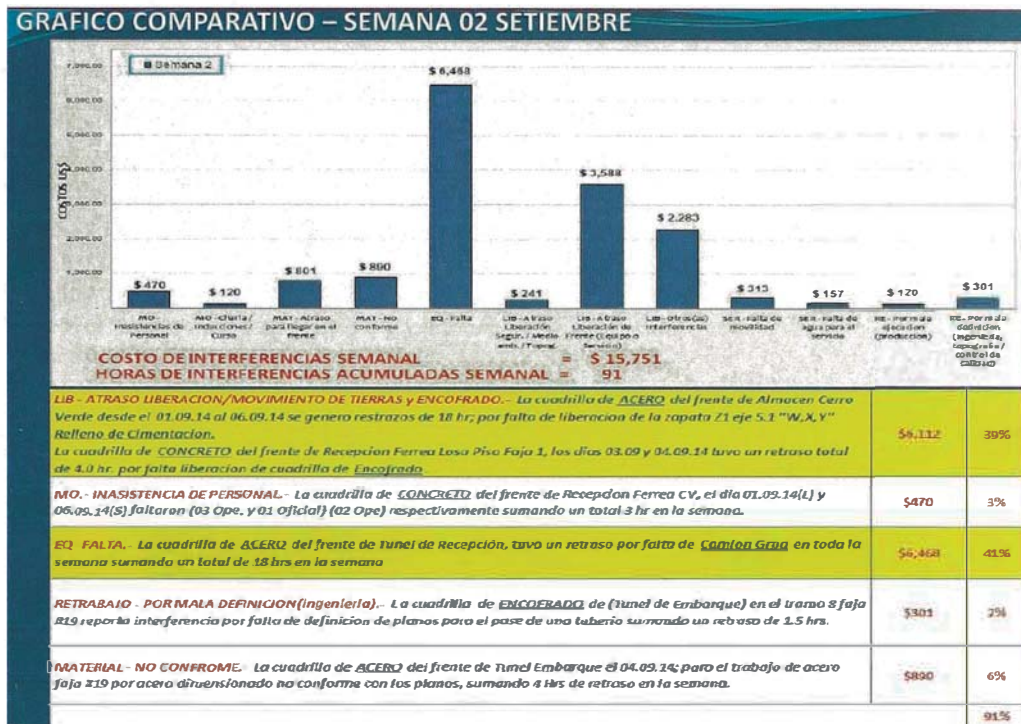


Figura N°4.8. Boletín de Gestión – Sem 1/Setiembre (Fuente Proyecto Matarani).

En el siguiente cuadro se presenta el comparativo de BG entregados Vs Entregable.

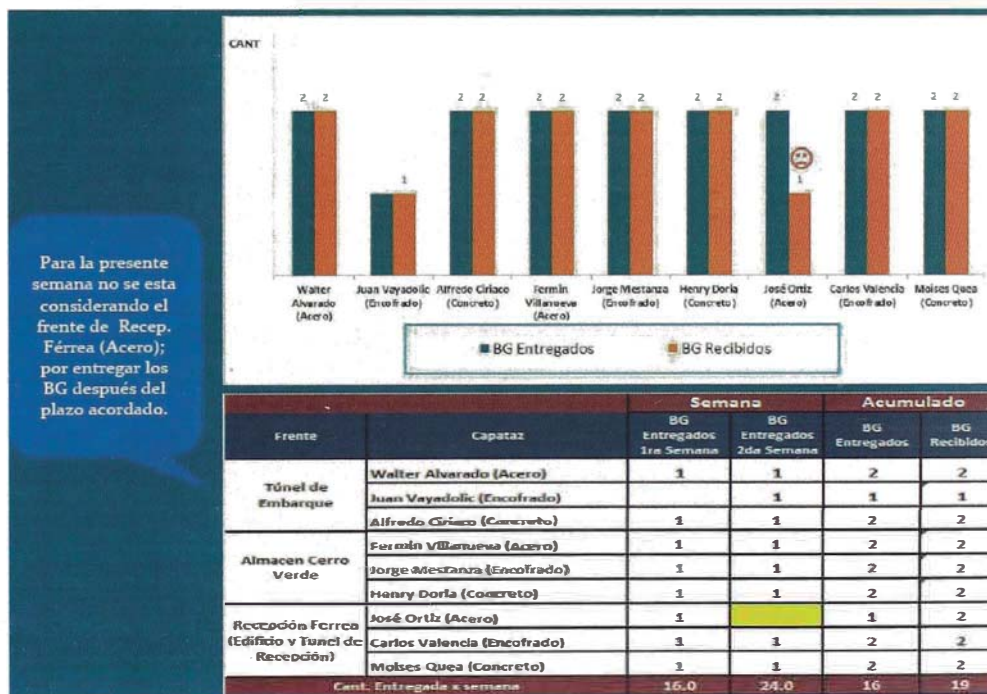


Figura N°4.9. Boletín de Gestión – BG Entregado Vs. BG Entregables (Fuente Proyecto Matarani).

En el siguiente cuadro se presenta el costo por las horas de interferencia total, en la cual representa el 16% del costo total las HH a pagar en la semana.



Figura N°4.10. Boletín de Gestión – Porcentaje de horas en costo (Fuente Proyecto Matarani).

Se presenta el gráfico por frente y la evolución semana

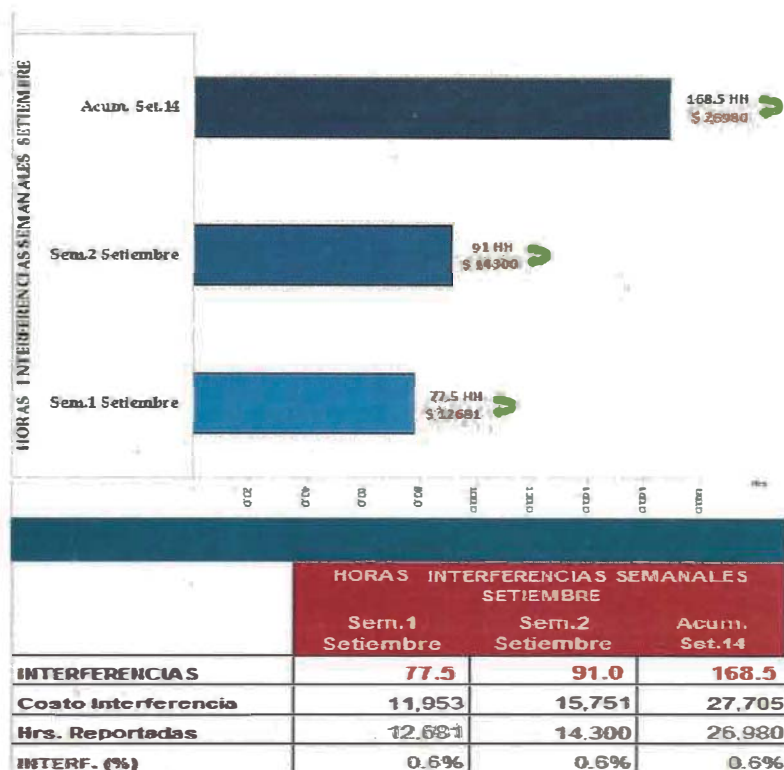


Imagen N°4.11. Boletín de Gestión – Evolución Semanal (Fuente Proyecto Matarani).

En el siguiente gráfico se muestra el costo de interferencia por cada recurso.

SEMANA 02 INTERFERENCIAS / FRENTE	LUIS GARIBALDI									Total Interferencia Horas
	TÚNEL DE EMBARQUE (Mauricio Ayala)			ALMACEN CERRO VERDE (Paul Salinas)			RECEPCIÓN FERREA CV EDIFICIO + TÚNEL (Andres Egusquiza)			
	Walter Alvarado (Acero)	Juan Valladolid (Encofrado)	Alfredo Ciriaco (Concreto)	Maria Vilasueva (Acero)	Jorge Mustanza (Encofrado)	Henry Dorla (Concreto)	José Ortiz (Acero)	Carlos Valencia (Encofrado)	Moises Quea (Concreto)	
% AVANCE SEMANAL (Cumplimiento de Metas)	77%	85%	72%	81%	67%	96%	0%	100%	100%	56%
HORAS INTERFERENCIAS - EH										
(1) MANO DE OBRA :										
1.01 Insistencia de Personal									3,00	3,00
1.02 Accidente / Incidente de Trabajo										
1.03 Charla / Inducciones / Curso								0,50		0,50
(2) MATERIAL:										
2.02 Atraso para llegar al frente		4,00								4,00
2.03 No conforme	4,00							0,50		4,50
(4) EQUIPOS:										
4.01 Falta	18,00	15,00								33,00
(5) LIBERACIONES:										
5.02 Liberación Seguridad/Medio amb. /Topog								1,00		1,00
5.05 Liberación de Frente (Equipo o Servicio)				12,00	12,00				4,00	28,00
5.06 Otros(as) Interferencias						12,00				12,00
(6) SERVICIOS:										
6.01 Falta de movilidad									2,00	2,00
6.04 Falta de agua para el servicio								1,00		1,00
(8) RETRABAJOS										
8.01 Por mala ejecución (producción)								0,50		0,50
8.02 Por mala definición (ing. Topog, Calidad)		1,50								1,50
Total Horas x Capataz	22,0	20,5		12,0	12,0	12,0		2,5	10,0	91,0
Total Horas x Responsable		42,5 H		38,0 H				12,5 H		

Figura N°4.12. Boletín de Gestión – Costo de Interferencias (Fuente Proyecto Matarani)

Se presenta a continuación los **índices de Productividad** del frente de Recepción Férrea, en las partidas acero, encofrado y concreto para las placas de los túneles

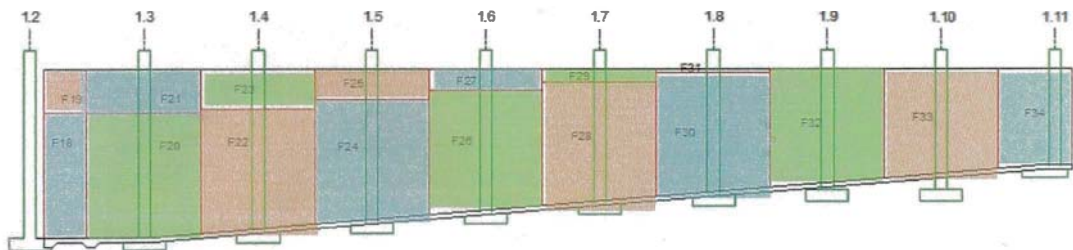


Figura N°4.13. Sectorización – Unidades de Producción (Fuente propia)

Índice de Encofrado

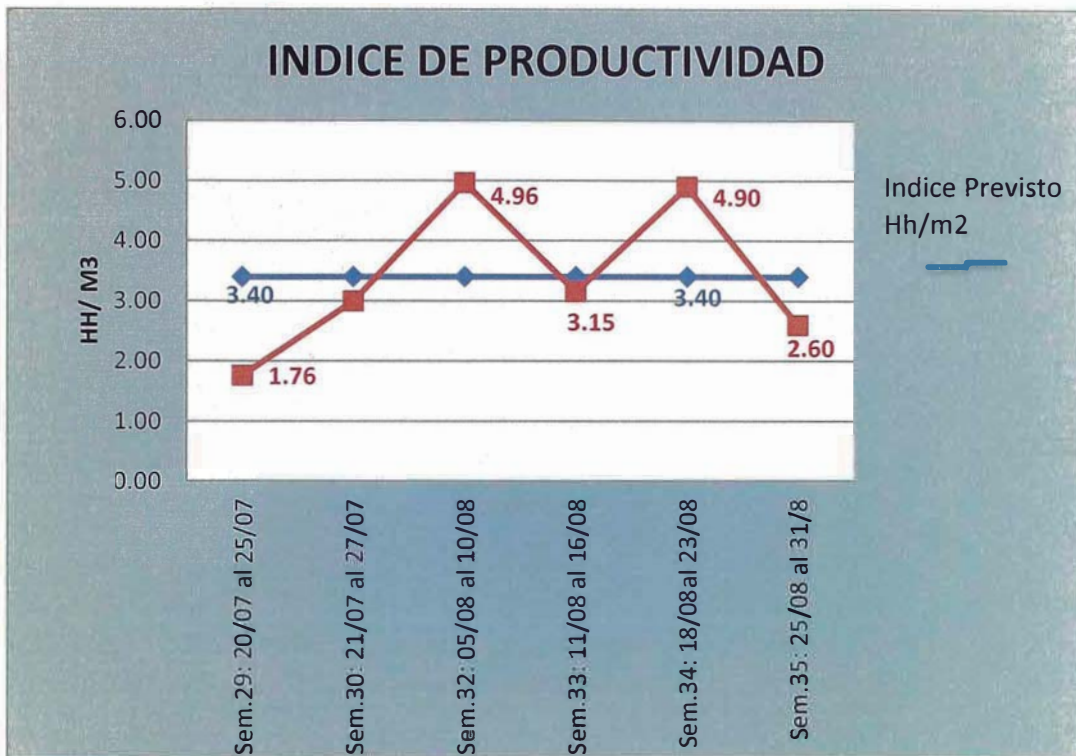
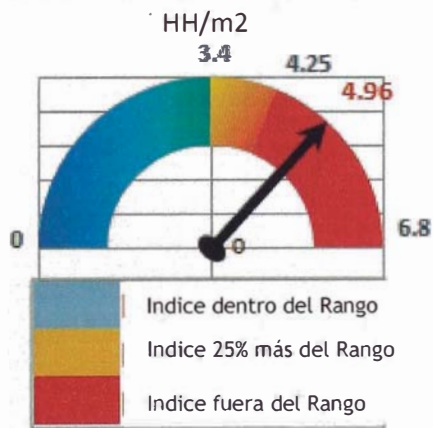


Figura N°4.14. Índice de Productividad encofrado de Muros – Recepción Férrera (Fuente propia)

Índice de Encofrado Sem 32



Índice de Encofrado Sem 35

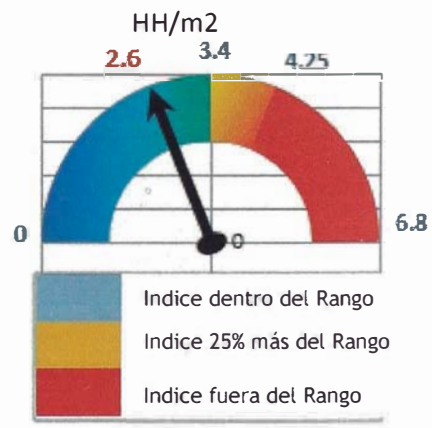


Imagen N°4.15. Gráfico de alerta – Recepción Férrera (Fuente propia)

Índice de concreto

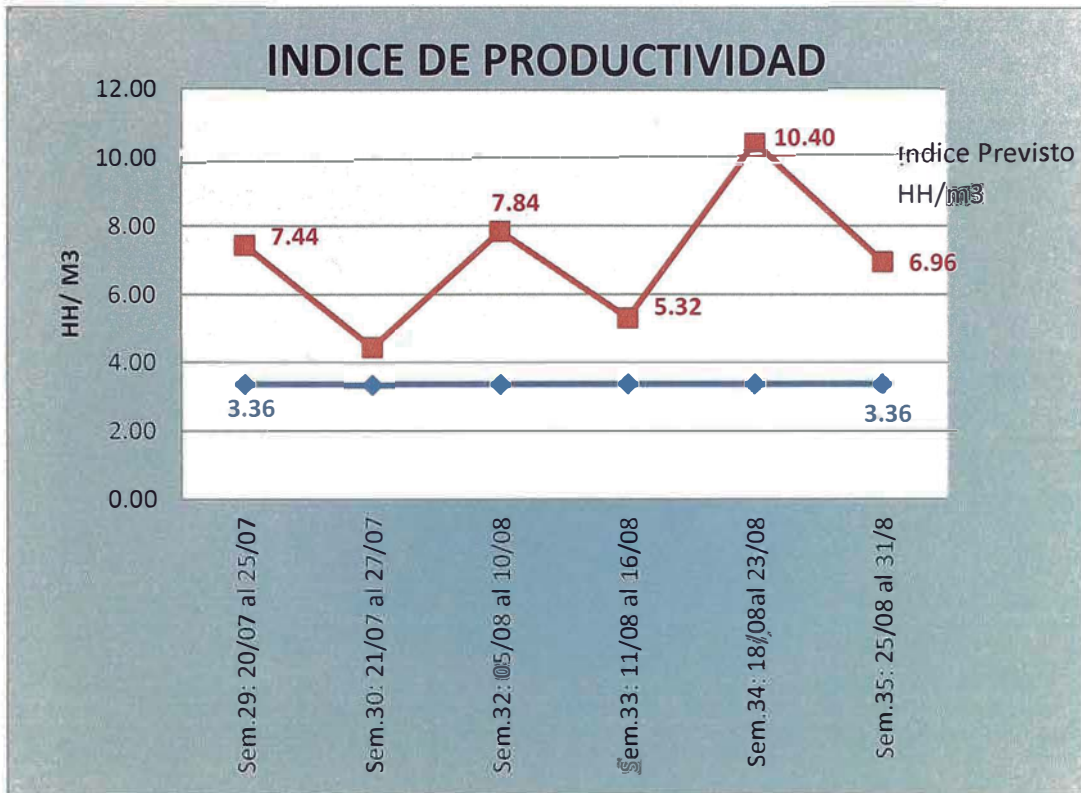
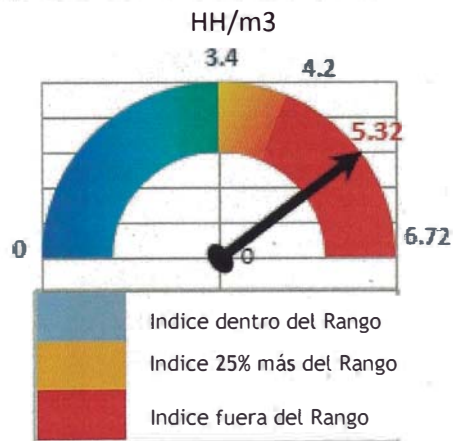


Imagen N°4.16. Índice de productividad de concreto Muros – Recepción Férrea
(Fuente propia)

Índice de Concreto Sem 33



Índice de Concreto Sem 35

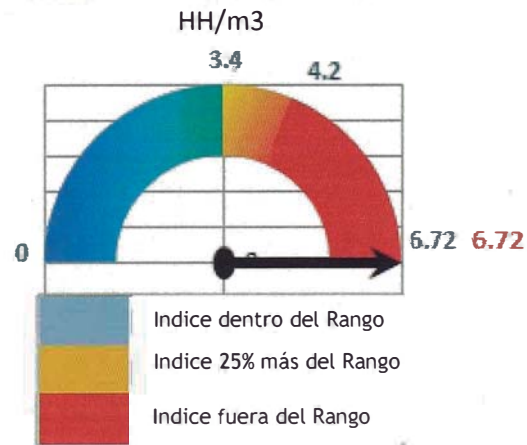


Imagen N°4.17. Gráfico de alerta sobre índices – Recepción Férrea (Fuente propia)

Los índices presentados son realidad de un frente que tuvo demasiadas complicaciones, como espacios reducidos y confinados, a continuación se

mostrará los índices de otros frentes de mayor área (mayor área para acopio, desenvolvimiento de personal y mayor volumen de trabajo).

Índice de Acero de Muro/Techo

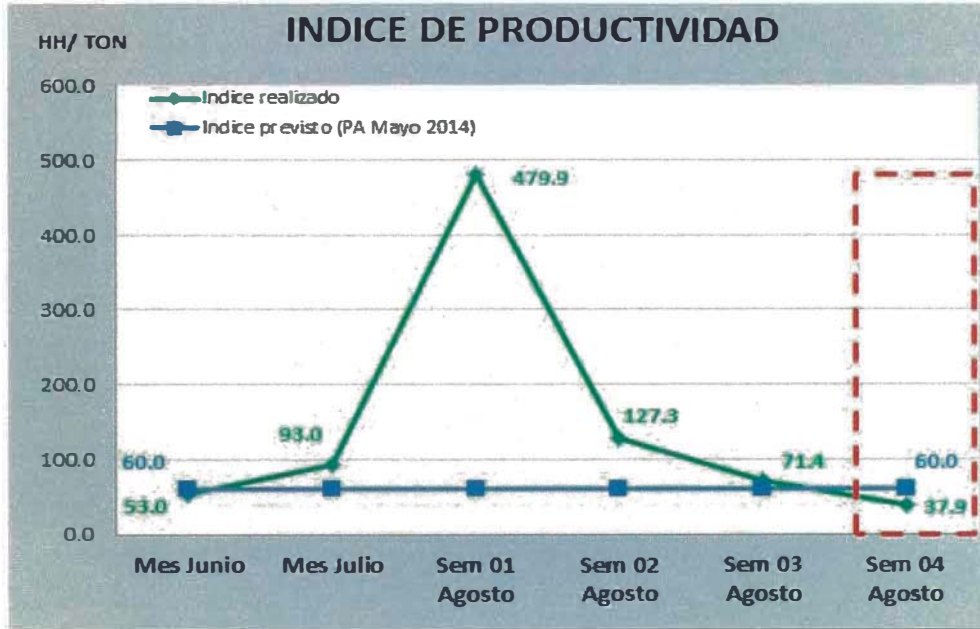
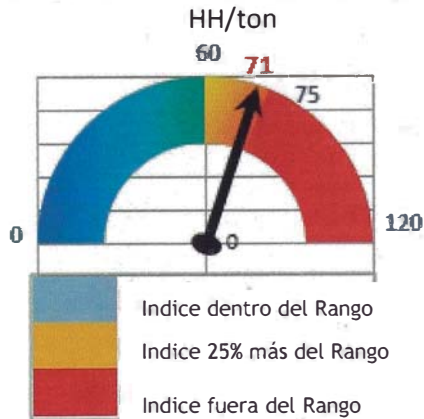


Imagen N°4.18. Índice de Acero de Muro – Frente Almacenes (Fuente propia)

Índice de Acero Sem 03-Agos



Índice de Acero Sem 04-Agos

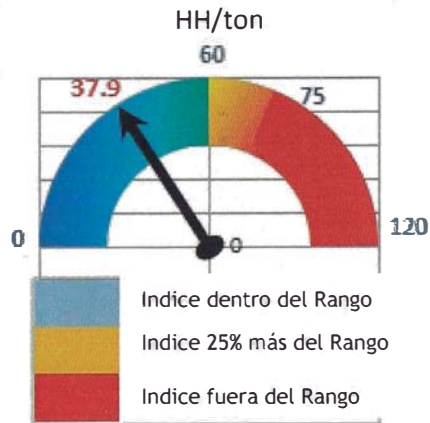


Imagen N°4.19. Índice de Acero de Muro – Frente Almacenes (Fuente propia)

Índice de encofrado

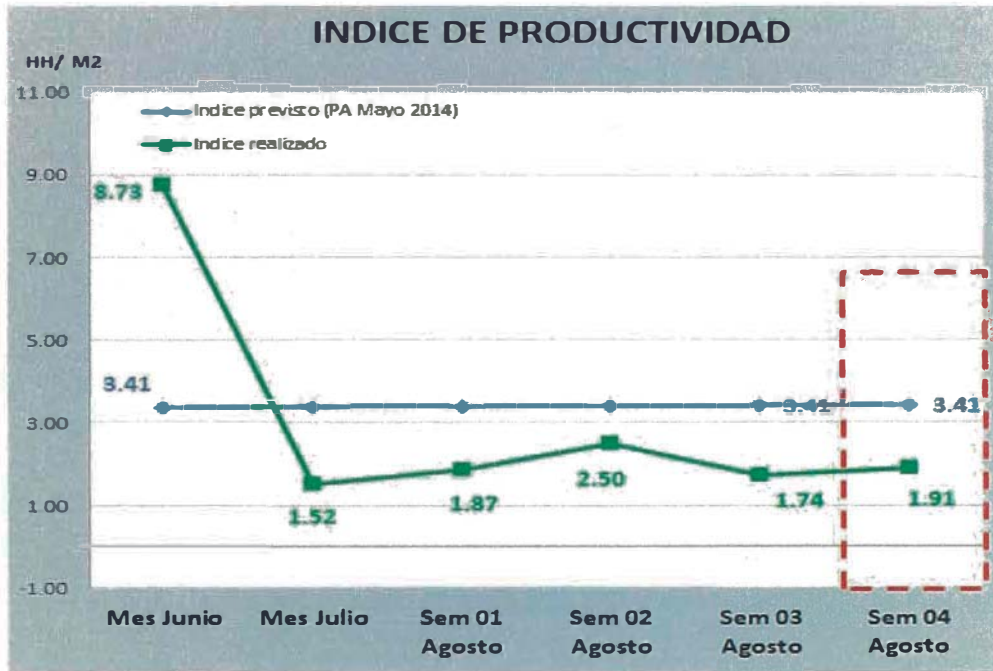


Imagen N°4.20. Índice de Encofrado de Muro – Frente Almacenes (Fuente propia)

Esquema de índices con Velocímetro

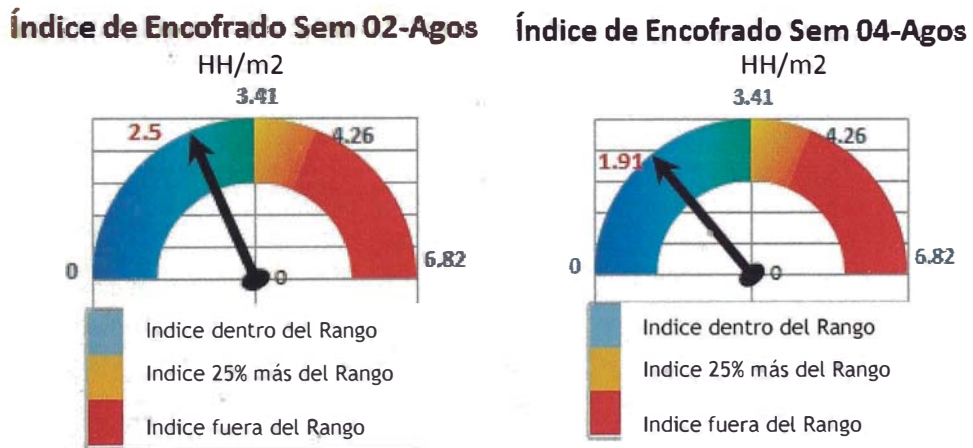


Imagen N°4.21. Índice de Encofrado de Muro – Frente Almacenes (Fuente propia)

Índice de concreto

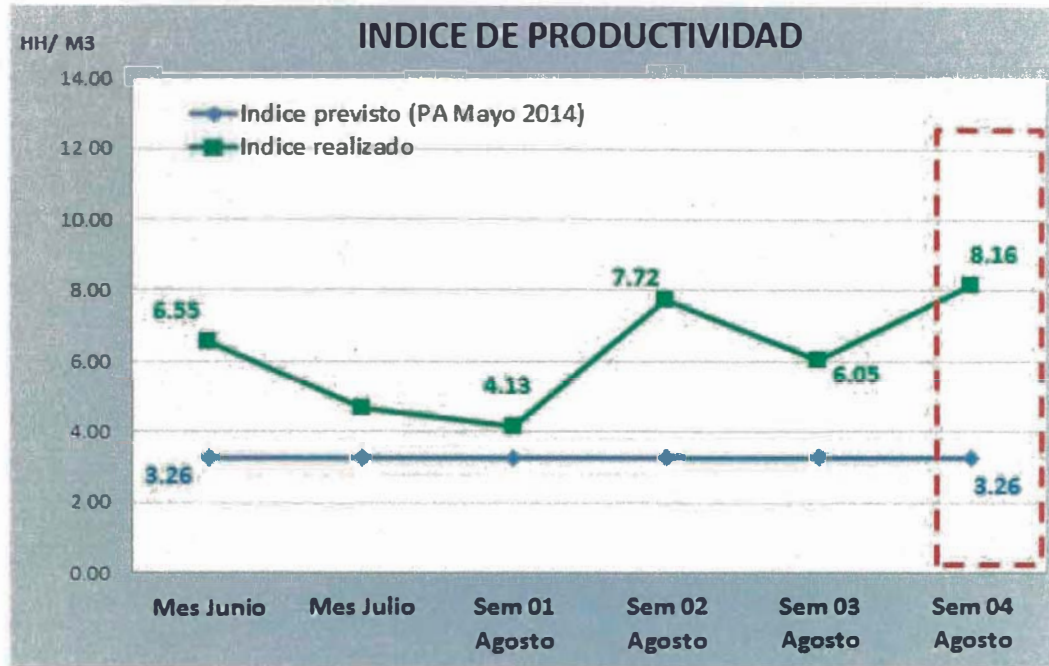
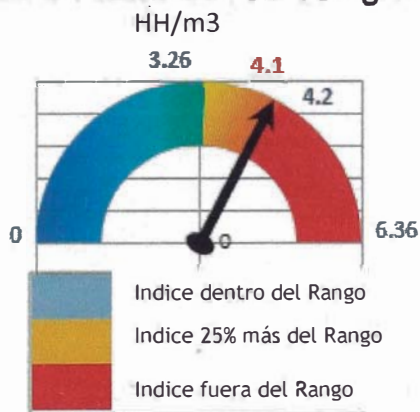


Figura N°4.22. Índice de Concreto de Muro – Frente Almacenes (Fuente propia)

Esquema con Velocímetro

Índice de Concreto Sem 01-Agos



Índice de Concreto Sem 04-Agos

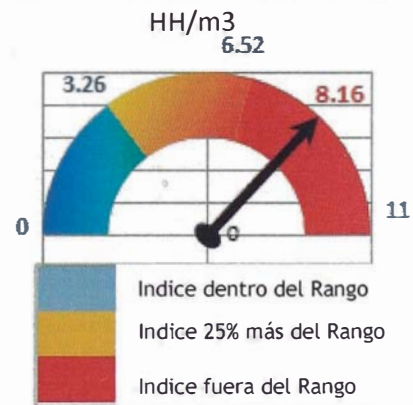


Figura N°4.23. Índice de Concreto de Muro – Frente Almacenes (Fuente propia)

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENADIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Para implementar la Filosofía Lean Construction es necesario que se involucre a todas las áreas, no sólo Producción, también Calidad, Logística, Administración, Recursos Humanos, ya que existió la inercia a seguir trabajando con un sistema antiguo y no con las nuevas tendencias que ayudan a tener una mejor producción. No se pudo tener concientizadas a todas las áreas ya que no se dio la respectiva capacitación a todo el personal.
- La sectorización es una herramienta de producción muy importante para el planeamiento y programación de un ingeniero civil, ya que sin esta es difícil de realizar una secuencia de trabajo planificada y en la cual podamos dar una fecha de término de los trabajos. Con la ayuda de esta herramienta, se pudo sectorizar los muros de las fajas 1 y 5, resultando 10 unidades de producción en la faja 1 – eje D; 10 unidades en la faja 1 – Eje C; 17 unidades en la faja 5 en ambos ejes (A y B), obteniendo una programación detallada y estableciendo el tren de actividades.
- Realizada la sectorización y definida las unidades de producción, esto ayudó a determinar la cuadrilla de trabajo, teniendo una cuadrilla de acero, encofrado y acero para cada eje de la Faja N°01 y Faja N°05. Y realizado el tren de actividades se determinó la secuencia de trabajo de las cuadrillas, siendo el orden de ataque Fajas N°2 y 6, y N° 3 y 7 respectivamente.
- Se homogenizó todas las unidades de producción para poder dar una fecha de finalización, y esta fecha estaba amarrada a una secuencia de actividades, siendo lo más realista posible, y aun así muchas de las fechas programadas no llegaron a cumplirse, las razones fueron acceso limitado y restringido, trabajos con altura mayor a los 9 metros , y personal de obra calificada escasa, de los casi 300 obreros, el 70% era personal local, muchos de ellos con poca experiencia en construcción y más abocados a la pesca en la zona.

- En obras tipo Fast Track las herramientas Lean son muy necesarias, sobre todo las reuniones del análisis de restricciones ya que estas involucran a todas las áreas, además de la planificación diaria y semanal lo que incluye el porcentaje de plan cumplido. Pero a pesar de todas estas herramientas, solo se cumplió en promedio el 85%.
- Al no tener la ingeniería definida al 100%, esto generaba consultas que muchas veces demoraban días en ser respondidas, las consultas de mayor análisis demoraban un promedio de 2 a 5 días, lo cual retrasaba los trabajos, como consecuencia el plan semanal no era cumplido. Las consultas eran colocadas en el análisis de restricciones, sin embargo al demorar la respuesta, la consecuencia era en retraso de compra de materiales, etc. No sólo era la ingeniería propia de la empresa, también estaba supeditado al diseño de una empresa contratada por el cliente, encargada de realizar la ingeniería y suministro de las fajas, tolvas, etc.
- Los costos por servicio estaban +/-10% de lo presupuestado, los costos negativos se analizaron y se concluyó que muchas cosas no estaban consideradas, como mayores horas hombre por acarreo, ya que el acceso era muy restringido, además de más horas hombre de lo presupuestado en el armado de andamios, mano de obra no calificada.
- En las fajas N°01 y N°05 debido a la pendiente pronunciada solo se pudo utilizar los andamios tipo BRIO, los cuales generaron mayores costos, sin embargo en las fajas N°02 y N°06 en la cual la pendiente es cero, los andamios que se utilizaron son móviles, lo cual esto impactó positivamente, reduciendo el ciclo, abaratando el alquiler.

5.2. RECOMENDACIONES

- Al definir el equipo de Producción, debe de concientizarse sobre la importancia de estas herramientas de Lean Construction, además de la capacitación; no sólo al equipo de Producción, en general a toda la obra se le debe de inculcar que esta filosofía ayuda a reducir desperdicios, generando mejores resultados de obra. El gerente de proyecto debe de inculcar e incentivar capacitaciones para que todo el equipo de proyecto pueda estar alineado y comprometido con la aplicación de estas herramientas y forma de trabajo.

- La utilización de un sistema 3D es más que necesario, es importante para resolver muchas de las incompatibilidades de planos, sistemas como el BIM deberían de implementarse y dar las respectivas capacitaciones al personal involucrado en la parte operativa y de ingeniería.
- Debe de implementarse un programa de capacitación a la mano de obra directa, sobre todo a capataces ya que son la última línea de mando para ejecutar las actividades.
- Para tener un mejor panorama de la ayuda de esta filosofía, debería de darse un acompañamiento de costos semanales de las principales partidas, ya que no es suficiente solo informar ratios de productividad, ya que el tema central dentro de una obra es el costo.
- La sinergia entre la logística y Producción debe ser la mejor, tal que los materiales no sean un impedimento de atraso, para ello se requiere que los recursos sean identificados por producción en sus debido momento, y el área de logística pueda realizar las compras dentro del plazo y costo.

BIBLIOGRAFÍA

1. ALIAGA DÍAZ, Luis, *“Introducción al Estudio del Trabajo en Obras de Edificación”*. Lima, Perú, 1991.
2. GHIO CASTILLO, Virgilio. *“Productividad en Obras de Construcción, Diagnóstico, Crítica y Propuesta”*. Lima, Perú, 2001.
3. JALANOCA LLAULLI, Edwin. *“Planeamiento, Productividad y Mejora de Flujo de Procesos en Construcción de Muros Pantalla en Espacios Reducidos”*. Informe de Suficiencia para optar el Título profesional. Facultad de Ingeniería Civil. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, 2013.
4. KOSKELA, Lauri. *“Application of the New Production Philosophy to Construction”*. Technical Report #72. CIFE Publications, Stanford University. Estados Unidos, 1992.
5. ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DEL TRABAJO. *“Introducción al Estudio del Trabajo”*. Imprenta del Journal de Geneve. Ginebra, Suiza, 1965.
6. SERPELL BLEY, Alfredo. *“Administración de Operaciones de Construcción”*. Primera Edición. Edición Universidad Católica de Chile. Chile, 1993.