



UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE ARQUITECTURA Y URBANISMO  
DEPARTAMENTO DE ARQUITECTURA  
ESCUELA DE POSTGRADO

## **PÉRDIDA DE PRODUCTIVIDAD LABORAL POR CAMBIOS EN LOS PROYECTOS EN OBRAS DE CONSTRUCCIÓN**

ACTIVIDAD FORMATIVA EQUIVALENTE A TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE  
MAGISTER EN DIRECCIÓN Y ADMINISTRACIÓN DE PROYECTOS INMOBILIARIOS

RODRIGO ALEJANDRO ACEVEDO PÉREZ  
INGENIERO CONSTRUCTOR

PROFESOR GUÍA:  
LEOPOLDO DOMINICHETTI CAROCA

SANTIAGO DE CHILE  
DICIEMBRE 2015

## **RESUMEN**

El objetivo del presente estudio es proponer métodos apropiados que permitan determinar los costos por la pérdida de productividad laboral debido a los cambios de proyectos en obras de construcción en Chile.

Esta investigación se divide en tres etapas. La primera etapa es la investigación teórica sobre la productividad de la mano de obra; las principales causas de pérdida de productividad laboral que surgen en las obras de construcción; y los principales métodos de estimación de pérdida de productividad laboral debido a cambios de proyectos que existen a nivel internacional.

La segunda etapa es un análisis comparativo de los métodos identificados anteriormente para definir los métodos más adecuados que permitan determinar la pérdida de productividad laboral en las condiciones particulares de la industria de la construcción en Chile.

Y por último, la realización de un análisis de un caso para mostrar la aplicación de los métodos propuestos.

Esta investigación presenta como resultado que existen métodos para la determinación de la improductividad debido a los cambios que se pueden aplicar en el medio nacional, pero la elección del método más adecuado depende del tipo y calidad de los antecedentes que se tenga de la obra, ya que cada uno de los métodos requiere de diferente información.

*A Claudia, mi esposa, por ser mi apoyo fundamental durante todo este proceso.*

## ÍNDICE

CAPÍTULO 1 – INTRODUCCIÓN .....	5
1.1. MOTIVACIÓN .....	6
1.2. HIPÓTESIS.....	7
1.3. OBJETIVO GENERAL .....	7
1.4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	7
1.5. METODOLOGÍA .....	8
CAPÍTULO 2 – ESTADO DEL ARTE .....	9
2.1. DEFINICIÓN DE CONCEPTOS .....	9
2.2. MÉTODOS DE ESTIMACIÓN DE PÉRDIDA DE PRODUCTIVIDAD LABORAL DEBIDO A CAMBIOS DE PROYECTOS.....	26
2.2.1. Método de Leonard.....	26
2.2.2. Método de lbbs.....	30
2.2.3. Método de Agrupación Estadística.....	33
2.2.4. Método de la Milla Medida .....	37
2.2.5. Método del Costo Total.....	43
2.2.6. Método del CostoTotal Modificado.....	45
2.2.7. Análisis del Valor Ganado.....	46
2.2.8. Factores de la MCAA.....	47
CAPÍTULO 3 – ANALISIS DE LOS MÉTODOS IDENTIFICADOS .....	55
CAPÍTULO 4 – ESTUDIO DE CASOS APLICANDO LOS MÉTODOS ESTUDIADOS.....	62
4.1. DEFINICIÓN DEL CASO.....	62
4.1.1. Utilización del método de lbbs. ....	63
4.1.2. Comparación del resultado obtenido utilizando el método de Leonard.....	84
4.1.3. Comparación del resultado obtenido utilizando el método del Costo Total.....	88
CAPÍTULO 5 – CONCLUSIONES Y COMENTARIOS .....	90
CAPÍTULO 6 – BIBLIOGRAFÍA .....	95

## **CAPÍTULO 1 – INTRODUCCIÓN**

Los contratistas pueden incurrir en costos adicionales cuando no son capaces de trabajar tan eficientemente como estaba previsto en su oferta original. Obtener una productividad menor a la planificada puede aumentar la mano de obra, el equipo y los costos de materiales. (Jones, 2003)

En los contratos de construcción es habitual que los proyectos o diseños sean aportados por el mandante y que surjan cambios de proyectos en el transcurso de la obra. Según Moselhi, Assem and El-Rayes (2005) Las ordenes de cambio<sup>1</sup> proveen un mecanismo para: (i) satisfacer las necesidades del Mandante a lo largo de la obra, y (ii) responder adecuadamente a los errores y omisiones del diseño, métodos constructivos y documentos contractuales.

Por otro lado, las órdenes de cambio con frecuencia plantean serios problemas a los propietarios y contratistas, ya que pueden provocar aumentos de costos y extensas disputas.

Para los contratistas, los cambios provocan un impacto negativo en la productividad de la construcción, disminuyendo la productividad de la mano de obra y perdiendo gran cantidad de horas hombres.

En el caso nacional, los contratistas son especialistas para estimar los costos directos o tiempos requeridos para ejecutar los cambios requeridos, pero se les hace muy difícil estimar con precisión el impacto que producen los cambios en el desarrollo de las obras.

Dado lo anterior, se hace necesario proponer métodos que permitan determinar la pérdida de productividad laboral debido a cambios de los proyectos en obras de construcción desarrolladas en el país.

---

<sup>1</sup> Una orden de cambio se puede definir como una formalización de un cambio de proyecto solicitado por el mandante en una obra de construcción.

## **1.1. MOTIVACIÓN**

En la industria de la construcción, el aumento de los conflictos que no logran ser resueltos entre las partes (mandante y contratista) ha generado que cada vez, con más frecuencia estos conflictos terminen en arbitrajes o en la Justicia Civil.

Esta “judicialización” de los conflictos ha traído como consecuencia que los perjuicios reclamados por las partes deban ser respaldados con pruebas y análisis técnicos que den resultados concisos e irrefutables.

Y, tal como se expuso en el punto anterior, la pérdida de productividad laboral debido a cambios de los proyectos en obras de construcción es un elemento que genera conflicto y que, por lo tanto debe ser justificado debidamente, para lograr la compensación del perjuicio sufrido por el contratista, por parte del mandante.

Pero, debido a que, en la industria de la construcción nacional, la falta de métodos para determinar la pérdida de productividad por cambios en los proyectos en obras de construcción y al desconocimiento de este fenómeno, es usual que los mayores costos percibidos por el contratista debido a este concepto, no sean reclamados y por lo tanto, sean asumidos por el contratista.

## **1.2. HIPÓTESIS**

“Dada la importancia que tiene la pérdida de productividad laboral debido a los cambios de proyectos en una obra de construcción, se puede afirmar que es posible proponer métodos que permitan determinar los costos por esta causa y que sean adecuados a las condiciones particulares de la Industria de la Construcción en Chile”.

## **1.3. OBJETIVO GENERAL**

Identificar, analizar y proponer métodos apropiados que permitan determinar los costos por la pérdida de productividad laboral debido a los cambios de proyectos en obras de construcción en Chile.

## **1.4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Revisar el Estado del Arte con respecto a los conceptos de la productividad laboral en la Construcción.
2. Revisar el Estado del Arte para identificar las principales causas de pérdida de productividad laboral que surgen en las obras de construcción.
3. Revisar el Estado del Arte para identificar los principales métodos de estimación de pérdida de productividad laboral debido a cambios de proyectos.
4. Realizar un análisis comparativo de los métodos identificados anteriormente.
5. Proponer los métodos más adecuados que permitan determinar la pérdida de productividad laboral para las condiciones particulares de la Industria de la Construcción en Chile.
6. Realizar un análisis de casos para mostrar la aplicación de los métodos identificados.

## 1.5. METODOLOGÍA

Para la elaboración de este trabajo se realizará una revisión de la literatura existente relacionada con los siguientes temas:

- Productividad laboral
- Controversias relacionadas a la pérdida de productividad laboral que surgen en las obras de construcción.
- Métodos de estimación de pérdida de productividad laboral debido a cambios de proyectos

Posteriormente se desarrollará un análisis comparativo de los métodos descubiertos, considerando la Identificación de las características principales que definen a cada uno de los métodos y su comparación en función del tipo de información que necesitan y los resultados que entregan utilizando datos reales de obra.

A continuación, con la caracterización de cada uno de los métodos estudiados se definirá cuáles son los más adecuados, además se determinarán los antecedentes mínimos que se requieren para el uso de cada una de ellos.

Finalmente, se presentará un análisis de casos utilizando los métodos definidos anteriormente. Se mostrará el tratamiento de la información de la información disponible y la comparación de resultados utilizando los distintos métodos estudiados.



## **CAPÍTULO 2 – ESTADO DEL ARTE**

### **2.1. DEFINICIÓN DE CONCEPTOS**

#### **2.1.1. La productividad en Obras de Construcción**

La productividad puede definirse como una medición de la eficiencia con que los recursos son administrados para completar un producto específico, dentro de un plazo establecido y con un estándar de calidad dado (Serpell, 1993).

En la construcción, los principales recursos empleados en los proyectos son los siguientes:

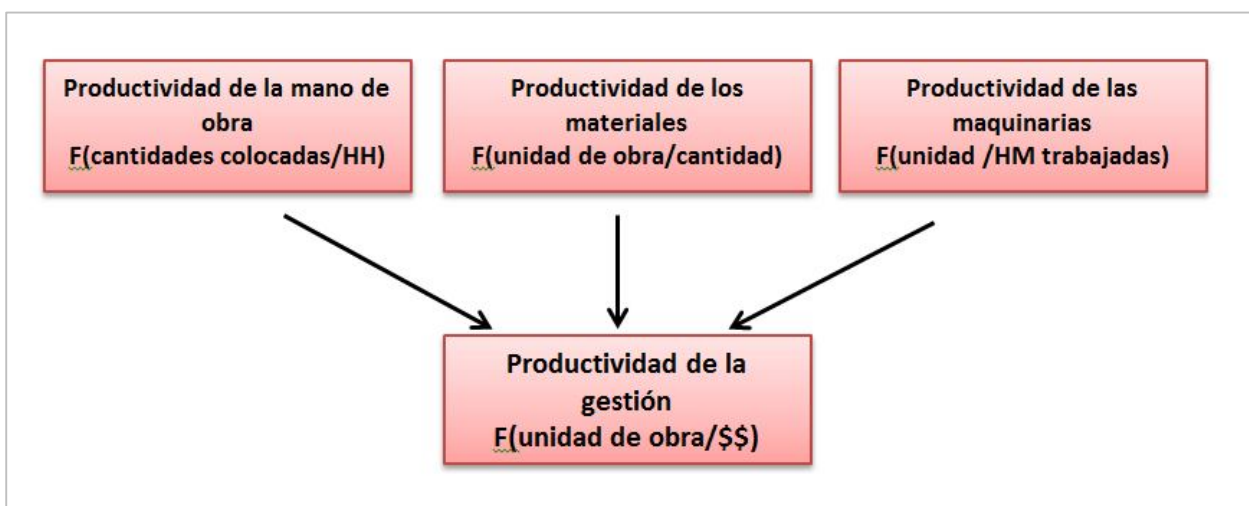
1. Materiales
2. Maquinaria y equipos
3. Mano de obra

Considerando los diferentes tipos de recursos es posible hablar de las siguientes productividades:

**Productividad de los materiales:** en la construcción es importante una buena utilización de los materiales, evitando todo tipo de pérdidas.

**Productividad de la maquinaria:** este factor es importante por el alto costo de los equipos siendo, por lo tanto, muy relevante evitar las pérdidas en la utilización de este tipo de equipos.

**Productividad de la mano de obra:** es un factor crítico ya que es el recurso que generalmente fija el ritmo del trabajo en la construcción y de cual depende, en gran medida, la productividad de los otros recursos. Se requiere de mano de obra para operar la maquinaria y para manipular los materiales.



**Figura 1:** Tipos de productividad (Serpell ,1993)

La figura anterior resume los principales tipos de productividad en la construcción. Su agregación determina la productividad general de la gestión de una obra.

Como se mencionó anteriormente la importancia de la mano de obra radica en que tiene productividad por sí misma y afecta a los demás recursos empleados en la construcción.

Según Serpell y Peralta (1991) la productividad, el costo y la duración de una obra depende en primera instancia de las tres primeras partes (dueños, diseñadores y constructores), ya que son éstas quienes proveen, administran y controlan los recursos necesarios para su desarrollo. Sin embargo, el desarrollo de las fases de trabajo depende fundamentalmente de la fuerza de trabajo, es decir, de las tareas y actividades que realicen los capataces y los trabajadores.

Durante la ejecución de una obra muchas veces se atribuyen los errores, fallas o aumentos en los costos a una fuerza de trabajo ineficiente. No obstante, en la actualidad se está tomando mayor conciencia respecto a que gran parte de éstos, se deben a deficiencias en las acciones de las otras tres partes, lo que dificulta que capataces y trabajadores sean productivos (Serpell y Peralta, 1991).

Dado lo expuesto anteriormente, surge la necesidad de estudiar los factores que afectan la productividad de la mano de obra.

Schwartzkopf (2004) define a la productividad laboral como las unidades de trabajo realizado por las unidades de trabajo gastados. En términos simples, la productividad se define en la siguiente fórmula:

$$Productividad Laboral = \frac{OUTPUT (m^2, m^3, Tón, etc)}{INPUT (Horas Hombre)}$$

En el sector de la construcción, el recíproco es cómo se expresa con frecuencia la productividad, es decir, horas-hombre por unidad de trabajo:

$$Productividad Laboral = \frac{INPUT (Horas Hombre)}{OUTPUT (m^2, m^3, Tón, etc)}$$

Dicha relación puede verse afectada positiva o negativamente por diversos factores, los que hacen que la productividad laboral aumente o disminuya, afectando consigo los costos involucrados.

### **2.1.2. Interrupción.**

Nelson (2011) define “disruption” o interrupción como la pérdida de la productividad, perturbación, impedimento o interrupción de los métodos normales de trabajo de un contratista, lo que resulta en una menor eficiencia. En el contexto de la construcción, el trabajo interrumpido es el trabajo que se lleva a cabo de manera menos eficiente de lo que hubiera sido, si no hubiera sido por la causa de la interrupción. Si es causado por el empleador puede dar lugar a un derecho a indemnización ya sea bajo contrato o como un incumplimiento de contrato.

### **2.1.3. Pérdida de Productividad laboral en Obras de Construcción**

La pérdida de productividad es definida como un “incremento de costos en la ejecución de una obra, producto de un cambio de las condiciones, recursos o procesos, estimados o planificados inicialmente por la constructora” (Schwartzkopf, 2004). La productividad laboral puede verse afectada por muchos factores que alteran la eficiencia en el desarrollo del trabajo, tales como, cambios de proyecto, interferencias, demoras o atrasos, interrupciones, paralizaciones, aceleraciones, alteración de la secuencia constructiva, entre las más importantes. Estos factores pueden causar a la constructora reasignación de trabajadores, recursos ociosos, ineficiencias por sobrepoblación de trabajadores en una misma área de trabajo, bajos rendimientos. Todo lo cual produce una disminución de la productividad estimada sin esas situaciones presentes, y por consiguiente un aumento de los costos asociados a la producción.

En general, la pérdida de productividad se debe a factores tanto del Contratista, como de El Mandante, los que dependiendo de la severidad con que se presenten, pueden afectar en mayor o menor medida la productividad, incluso presentándose de manera simultánea y conjunta.

Los factores o eventos más comunes en obras de construcción que pueden causar que la productividad disminuya, son los siguientes (AACE, 2004):

**i. Factores de pérdida de la productividad provenientes de La Constructora.**

- **Ausentismo laboral:** Cuando un equipo de trabajo alcanza su nivel más alto de productividad la ausencia de cualquiera de sus miembros puede impactar el rendimiento alcanzado, ya que normalmente el equipo no podrá lograr la misma tasa de producción con menos recursos, incluso con otra persona de reemplazo que tenga el mismo nivel de habilidad y experiencia que el miembro ausente del equipo.
- **Aceleración de la construcción:** Cuando la obra se encuentra retrasada respecto del programa, la constructora necesita acelerar el avance de la obra para poder cumplir con los plazos comprometidos.

La aceleración de un proyecto puede dar lugar a largos períodos de horas extras obligatorias, la adición de un segundo turno, o la adición de más mano de obra más allá de la que se puede ser gestionada o coordinada efectivamente, todo lo cual puede tener efectos adversos en la productividad que no permitan obtener la aceleración requerida.

- **Disponibilidad de mano de obra especializada:** Para ser productivo, un contratista debe contar con suficiente mano de obra calificada en terreno. En la medida en que la mano de obra calificada no esté disponible y se vea obligado a utilizar la mano de obra menos calificada, es probable que la productividad se vea afectada.
- **Competencia por mano de obra especializada:** Si uno o más proyectos cercanos que requieren mano de obra similar comienzan simultáneamente, se generará una competencia por contar con el personal requerido, lo que podría afectar negativamente la productividad. Situaciones como incentivos financieros, cambios en las reglas de trabajo, entre otras, pueden generar el comienzo de una serie de repentinos cambios de obra de los trabajadores, lo que generaría una menor productividad y mayores costos para la primera constructora que los contrató.

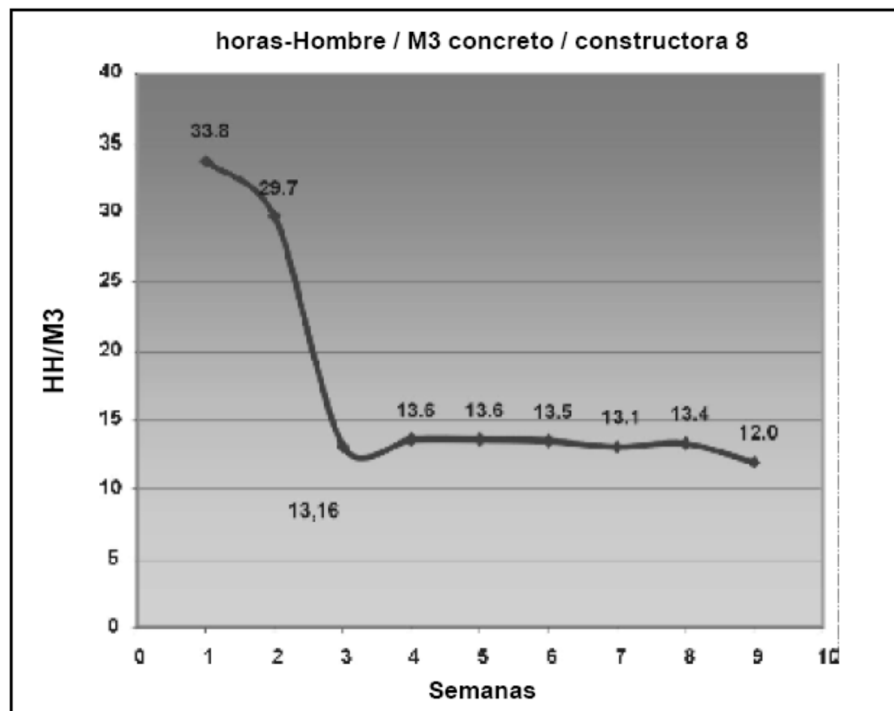
Además, se corre el riesgo de que la mano de obra de reemplazo pueda ser más costosa y/o menos calificada.

- **Dilución de supervisión:** Cuando los equipos de trabajo se dividen para lograr realizar el trabajo programado, cuando el trabajo ha cambiado varias veces de ubicación, cuando el trabajo se cambia o reordena continuamente, la supervisión en terreno no puede realizar eficazmente su tarea principal que es verificar que los equipos trabajen de forma productiva, debido a que los supervisores o capataces terminan gastando más tiempo en planificación y replanificación que en la supervisión en terreno. Además, es probable que la productividad disminuya debido a que las herramientas, materiales y equipos no logran estar en el lugar correcto y en el momento adecuado.
- **Exceso de horas extras:** Numerosos estudios durante muchos años han documentado consistentemente el hecho de que la productividad normalmente disminuye a medida que aumenta el trabajo en horas extras. Las razones más comúnmente expuestas para este resultado incluyen fatiga, aumento del ausentismo, disminución de la moral, la reducción de la eficacia de supervisión, trabajos deficientes que deben ser rehechos, aumento de los accidentes, etc.

Mientras que las horas extraordinarias inicialmente generan un aumento de la producción, si se continúa durante un período prolongado, la productividad puede comenzar a disminuir por las razones expuestas anteriormente. Por lo tanto, las horas extraordinarias a largo plazo pueden disminuir la productividad y provocar un aumento de los costos.

- **Fallas de coordinación con proveedores y/o subcontratos:** Si el equipo de gestión del proyecto no puede disponer de los subcontratistas, materiales o equipos en el lugar y momento adecuado, la productividad puede disminuir a medida que los equipos de trabajo no tendrán los recursos necesarios para realizar su labor.

- **Relaciones laborales y administrativas:** Cuando hay problemas sindicales, problemas de relaciones laborales, condiciones de trabajo inseguras u otros problemas de seguridad, emisión errática de los permisos, fallas en el control del ingreso a la obra del personal, etc., la productividad del trabajo puede verse afectada negativamente.
- **Curva de Aprendizaje:** El fenómeno del aprendizaje ha sido comprobado empíricamente, y consiste en que cuando se produce algo, a medida que el número de ciclos o repeticiones aumenta, el tiempo o costo de repetición va disminuyendo. Este proceso trae consigo un aumento de la productividad a medida que se va repitiendo la producción o la prestación de un servicio (Serpell, 1997).



**Figura 2:** Curva de aprendizaje, variación del rendimiento de la colocación de hormigón (HH/m3) a través de semanas de aprendizaje de una cuadrilla de concreteros. (Botero, 2004)

Por lo tanto, al comienzo de cualquier proyecto de construcción, hay un tiempo de aprendizaje mientras las cuadrillas de trabajadores se familiarizan con el proyecto, su ubicación, las normas de calidad impuestas, etc. Esto es esperable y por lo general se incluye en los rendimientos del presupuesto. Sin embargo, si el trabajo

del proyecto se detiene durante algún tiempo o los trabajadores son intercambiados de otras labores o despedidos, a continuación, cuando el trabajo recomience, la productividad alcanzada por el equipo de trabajo original se pierde y el nuevo equipo deberá pasar por una nueva curva de aprendizaje.

- **Rotación de la mano de obra:** Si se produce una rotación constante de mano de obra, es muy probable que no se logre una buena productividad, debido a que permanentemente hay personal nuevo integrándose a los equipos de trabajo y por lo tanto se encuentran en su periodo de curva de aprendizaje, lo que afecta la productividad general de los equipos.
- **Escasez de materiales, herramientas y equipos:** Si los materiales, herramientas o equipos de construcción no están disponibles para el personal de la obra en el lugar y momento adecuado, entonces la productividad se verá afectada. Del mismo modo, si se proporciona las herramientas equivocadas o en un número menor al necesario, la productividad también será afectada.
- **Exceso de mano de obra:** La pérdida de productividad pueden ocurrir cuando un contratista se ve obligado a utilizar más personal de lo originalmente planificado y no ser capaz de gestionar con eficacia el trabajo con el personal de supervisión existente.
- **Secuencias deficientes de trabajo:** Cuando el trabajo no se realiza en un orden lógico es muy probable que se desarrollen partidas en forma simultáneas que se obstaculicen entre sí, o que se generen tiempos de espera entre actividades consecutivas.
- **Errores y trabajos rehechos:** las reparaciones o en los casos más extremos, el desarme o demolición de los trabajos mal ejecutados generan gastos de tiempo y recursos (mano de obra, materiales, etc.) no contemplados en el presupuesto.



- **Baja moral de la mano de obra:** Cuando un trabajo es constantemente modificado, demolido, rehecho, etc., se produce una desmotivación en los trabajadores.
- **Compresión de programa:** Cuando existen retrasos en un proyecto, la compresión del programa de actividades siguientes aparece como la forma de contrarrestar las demoras para terminar el proyecto a tiempo, esto puede tener como resultado una sobrecarga de trabajo, lo que causa importantes pérdidas de productividad, fundamentalmente por la dilución de la supervisión, la escasez de materiales, equipos, herramientas y por una mayor dificultad para planificar y coordinar trabajos.

En resumen, el efecto de un deficiente manejo en la administración de una obra de construcción, que se manifiesta por la ocurrencia de los factores detallados anteriormente, puede dar como resultado la pérdida de productividad laboral debido a que los trabajadores no se pueden desempeñar con normalidad. Un proyecto que desde el inicio es planeado e implementado inapropiadamente derivará en pérdidas de productividad. Por ejemplo, poner en marcha trabajos antes de tener acceso a energía eléctrica en el área de trabajo, acumulación de materiales sin tener espacios adecuados, excesivos recorridos desde las zonas de trabajo a comedores, baños, bodegas, etc.

## ii. Factores de pérdida de la productividad provenientes del Mandante.

- **Modificaciones o cambios de proyecto (efecto onda):** Todos los proyectos se encuentran con algún cambio durante la construcción. Algunos autores creen que es normal que los cambios generen un aumento de los costos del proyecto entre un 5% a un 10%. Sin embargo, el surgimiento de cambios mayores, más allá de lo previsto, en magnitud o cantidad, o de múltiples cambios, el impacto de los cambios en el resto de los trabajos que no sufrieron cambios, o el impacto acumulativo de los cambios, son factores que pueden impactar la productividad. Además, la necesidad de demoler y rehacer trabajos ya ejecutados, los retrasos que generan

los cambios y la necesidad de volver a planificar y programar los trabajos, también puede hacer que la productividad disminuya.

- **Errores e indefiniciones de proyecto:** Cuando los planos o especificaciones están errados, son ambiguos, poco claros, etc., La productividad es probable que disminuya debido a que los equipos de trabajo tendrán la incertidumbre de qué es lo que se debe hacer, Como consecuencia, pueden reducir su ritmo de trabajo o parar mientras esperan instrucciones claras.
- **Consultas inoportunas:** Cuando el mandante, inspección técnica, ingeniería, arquitectos o los demás proyectistas, no responden las consultas o solicitudes de aclaración en forma oportuna o el contratista no realiza las consultas a tiempo a la inspección técnica, la productividad de un proyecto decaerá ya que el personal no puede continuar con los trabajos porque no cuenta con la información ni la autoridad suficiente para seguir con el avance de la faena.
- **Gestión deficiente por parte del mandante:** Retraso en la entrega del terreno para que el contratista pueda dar inicio a las obras, información incompleta o retrasos en la información, retrasos en las respuestas a los requerimientos de información o RDI emitidos por la Constructora, problemas con tramitaciones y permisos de responsabilidad del mandante, falta de coordinación entre el mandante, los proyectistas y la Inspección Técnica, son los problemas más comunes que se presentan en el desarrollo de una obra asociados a una deficiente gestión por parte del mandante, los cuales normalmente terminan por afectar la productividad de la obra.
- **Aceleración de la construcción:** Cuando el mandante solicita que la Constructora acelere el ritmo de la construcción con la finalidad de disponer anticipadamente del proyecto terminado.

Dentro de las alternativas utilizadas habitualmente para lograr la aceleración de la obra se encuentran, periodos prolongados de horas extras, la adición de un segundo turno, integración de mano de obra hasta la saturación de terreno. Pero, si

estas medidas no son administradas o coordinadas eficazmente pueden generar un efecto inverso impactando seriamente productividad requerida.

### iii. Factores de pérdida de la productividad por factores externos.

- **Clima adverso o inusualmente severo:** Algunos días con clima adverso son esperables en cada proyecto de construcción. Pero encontrarse inesperadamente con tiempos severos de mal clima, no considerados en la programación, afecta inevitablemente la productividad (ej.: rellenos de tierra u operaciones de compactación de terreno).
- **Situaciones de fuerza mayor:** De conformidad con lo dispuesto en el artículo 45 del Código Civil, se llama fuerza mayor o caso fortuito el imprevisto a que no es posible resistir como un naufragio, un terremoto, los actos de autoridad ejercidos por funcionarios públicos, etc. De esta manera, el caso fortuito o fuerza mayor debe ser inimputable, vale decir, que provenga de una causa enteramente ajena a la voluntad de las partes; imprevisible, esto es, que no se haya podido prever dentro de los cálculos ordinarios y corrientes; e irresistible, es decir, que no se haya podido evitar, ni aun en el evento de oponerse las defensas idóneas para lograr tal objetivo. Por lo tanto, Terremotos, inundaciones, maremotos, por ejemplo, son eventos imprevisibles que pueden causar daños a la obra, pérdida de materiales, equipos, paralizaciones temporales, ausentismo laboral, situaciones que evidentemente producen una disminución de la productividad.

#### 2.1.4. Ordenes de cambio.

Un cambio es una modificación en el alcance original del trabajo, plazo del contrato, o el costo de la obra. Una orden de cambio es una formalización de un cambio de proyecto solicitado por el mandante en una obra de construcción. Los cambios y las órdenes de cambio son una parte normal del proceso de construcción. Habitualmente las órdenes de cambio modifican el costo del contrato de construcción porque estos aumentan, eliminar o cambian el trabajo a realizar. Los cambios a menudo causan conflictos entre

propietarios y contratistas sobre el costo del cambio. En general, se reconoce que los cambios realizados durante la ejecución de la obra son más caros que si el mismo trabajo hubiera sido llevado a cabo en el marco del contrato original. Los cambios pueden surgir de una variedad de causas, como por ejemplo (Schwartzkopf, 2004):

1. Planos y especificaciones defectuosos;
2. Cambios en el alcance generados por los cambios del usuario;
3. Diferentes alteraciones en el lugar;
4. Retrasos en el programa;
5. Ingeniería de Valor<sup>2</sup>
6. Sustituciones; y
7. Diseño incompleto.

Usualmente, un contrato de construcción, dentro de sus cláusulas define la responsabilidad que cada parte contratante tiene con la otra, el alcance del trabajo, el plazo y el costo.

Una modificación solicitada por el mandante es analizada y presupuestada por el contratista, el cual presenta una Nota de Cambio con la valorización y las condiciones requeridas para su realización, Una vez aprobada por el mandante se transforma en una Orden de Cambio, y sólo a partir de este instante el contratista está facultado para comenzar su ejecución.

A pesar de que las partes hayan incluido en el contrato un procedimiento formal de efectuar los cambios de proyecto, es normal que muchos de estos cambios comiencen su ejecución mientras las partes aún discuten sobre la validez del cambio reclamado por el contratista, aduciendo el mandante que lo reclamado forma parte del alcance del proyecto y por lo tanto no corresponde su pago, o por el excesivo costo de tales cambios. Por lo tanto, las órdenes de cambio tienen el potencial de llegar a ser costosas

---

<sup>2</sup> El concepto de "Value Engineering" está asociado a una revisión, integral y conceptual de un proyecto antes de iniciar la ejecución de la obra. Pero en este caso se refiere a que este proceso de mejoras se realiza una vez definido los alcances del contrato.

y difíciles y pueden ser un verdadero obstáculo para el progreso de la obra de construcción.

El formato de Nota de cambio usado comúnmente por las empresas constructoras en Chile, tiene la siguiente presentación:

NOTA DE CAMBIO				Nº	
				REV.	
<b>MANDANTE</b>					
<b>EMPRESA</b>					
<b>NOMBRE DE LA OBRA</b>					
Fecha Inicio		<b>Valor del Contrato Original</b>			
Fecha Termino		<b>Aumento de Obra</b>			
Plazo de Ejecucion		<b>Disminucion de Obra</b>			
Resolucion de Adjudicacion		<b>Obra Extraordinaria</b>			
Solicitud de Aumento de Plazo	-	<b>Aumento de Plazo</b>			
<b>DETALLE DE SOLICITUD DE CAMBIO</b>					
<b>DOCUMENTOS DE RESPALDO</b>					
<b>OBSERVACIONES (I.T.O.)</b>					
<b>MONTO AUMENTO APROBADO</b>					
<b>MONTO DISMINUCION APROBADO</b>					
<b>MONTO OBRAS EXT. APROBADO</b>					
<b>SOLICITUD VIA</b>	<b>Libro de Obra</b>		<b>SITUACION</b>	<b>En estudio</b>	
	<b>Minuta de Reunion</b>			<b>Rechazado</b>	
	<b>Otros Documentos</b>			<b>Aprobado</b>	
REP.CONTRATISTA		V°B° I.T.O.		V°B° MANDANTE	

**Figura 3:** formato tipo de una Nota de Cambio

En la figura anterior, se observa que la Nota de Cambio presenta el precio de que significa el cambio solicitado, ya sea aumento de obra, disminución u obra extraordinaria, y como se dijo anteriormente, se valoriza en la mayoría de los casos con los precios de presupuesto. Además, es muy importante que indique la cantidad de días de aumento de plazo que genera la ejecución de este cambio, en el caso que afecte el avance de la obra.

La Nota de Cambio debe ir acompañada de:

- Presupuesto del valor total del cambio, el cual se desglosa en:
  - Costo directo: estimado en base a la cantidad de obra y a los precios unitarios de contrato.
  - Gastos Generales: corresponde a un porcentaje del costo directo, establecido en el presupuesto de contrato.
  - Utilidades: corresponde a un porcentaje del costo directo, establecido en el presupuesto de contrato.
- Detalle de los precios unitarios de aquellas partidas o unidades que no estén incluidas en el presupuesto.
- Cotizaciones de materiales o servicios que respalden los precios presentados.
- Detalle de las cuantificaciones de obra.

#### **2.1.5. Efectos de los cambios de proyecto en la productividad de la mano de obra**

Se debe considerar que los cambios en los proyectos proveen un mecanismo para: (i) satisfacer las necesidades del Mandante a lo largo del proyecto, y (ii) Responder adecuadamente a los errores y omisiones del diseño, métodos constructivos y documentos contractuales, considerando además que en el común de los contratos de construcción, los proyectos y diseños son elaborados y aportados por el mandante.

Pero por otra parte, los cambios de proyecto tienen un impacto negativo en la productividad de la construcción, disminuyendo la productividad de la mano de obra y perdiendo gran cantidad de horas hombres. Los cambios plantean serios desafíos para mandantes y constructores por igual (Moselhi, Assem and El-Rayes, 2005)

Los cambios en los proyectos de construcción, de una u otra forma, tienen un efecto en los costos y plazos del proyecto. Existen generalmente dos categorías:

- a. El costo y plazo directo para la ejecución del cambio (Trabajo adicional, materiales y equipos)

- b. El impacto que el cambio puede tener sobre las obras no modificadas o los trabajos originalmente contratados, debido a atrasos, interrupciones, cambios de la secuencia constructiva, falta de recursos (Ibbs and McEniry , 2008).

En contratos de obra pública en Chile, como por ejemplo la Licitación denominada “Normalización Hospital Traumatológico y Unidad de Apoyo Complejo HGGB-HTC de Concepción<sup>3</sup>, sus Bases Administrativas Especiales, indican lo siguiente

*“AUMENTO Y DISMINUCIÓN DE OBRAS. El mandante podrá ordenar el aumento o disminución de obras debido a imprevistos técnicos o por ser imprescindibles para el funcionamiento del hospital durante el transcurso de la ejecución de la obra. El monto del aumento o disminución de obras no podrá exceder al diez por ciento (10%) del monto total del contrato. El contratista quedará obligado a ejecutar los nuevos trabajos o aceptar la disminución de las obras, hasta el porcentaje indicado. Los aumentos o disminuciones de obra podrán dar origen a una variación del plazo, que será resuelto por el mandante de acuerdo con los antecedentes del caso. El valor de los aumentos o la reducción del precio del contrato, en el caso de disminución de obras, se determinará sobre la base de los precios unitarios del Presupuesto, aplicados a las cantidades efectivas de obra a aumentar y/o disminuir. El precio resultante se recargará o disminuirá en el porcentaje de gastos generales y utilidad de la oferta.”*

*“OBRAS EXTRAORDINARIAS: (...)Para determinar el monto de obra extraordinaria se aplicará a las cantidades efectivas de obra el precio unitario que se pueda deducir u homologar del presupuesto. Si no existiere un valor unitario en el mencionado presupuesto, se considerará para la obtención del mismo, el análisis de precios unitarios entregados por el contratista y a falta de alguno de estos, los valores se fijarán de común acuerdo entre las partes.*

---

<sup>3</sup> Bases Administrativas Especiales, Licitación ID: 1213-302-LP09 “Normalización Hosp Traumatológico y Unidad de Apoyo Complejo HGGB-HTC de Concepción, extraído de <http://www.mercadopublico.cl/>

Esta cita indica que el contratista debe valorizar los cambios solicitados por el mandante en base a los precios unitarios del presupuesto.

De lo anterior, se puede decir que el contratista frente a un cambio solicitado por el mandante, en la mayoría de los casos, tiene los precios unitarios predefinidos, es decir, debe utilizar los rendimientos o productividades de los materiales, equipos y mano de obra consideradas en el presupuesto.

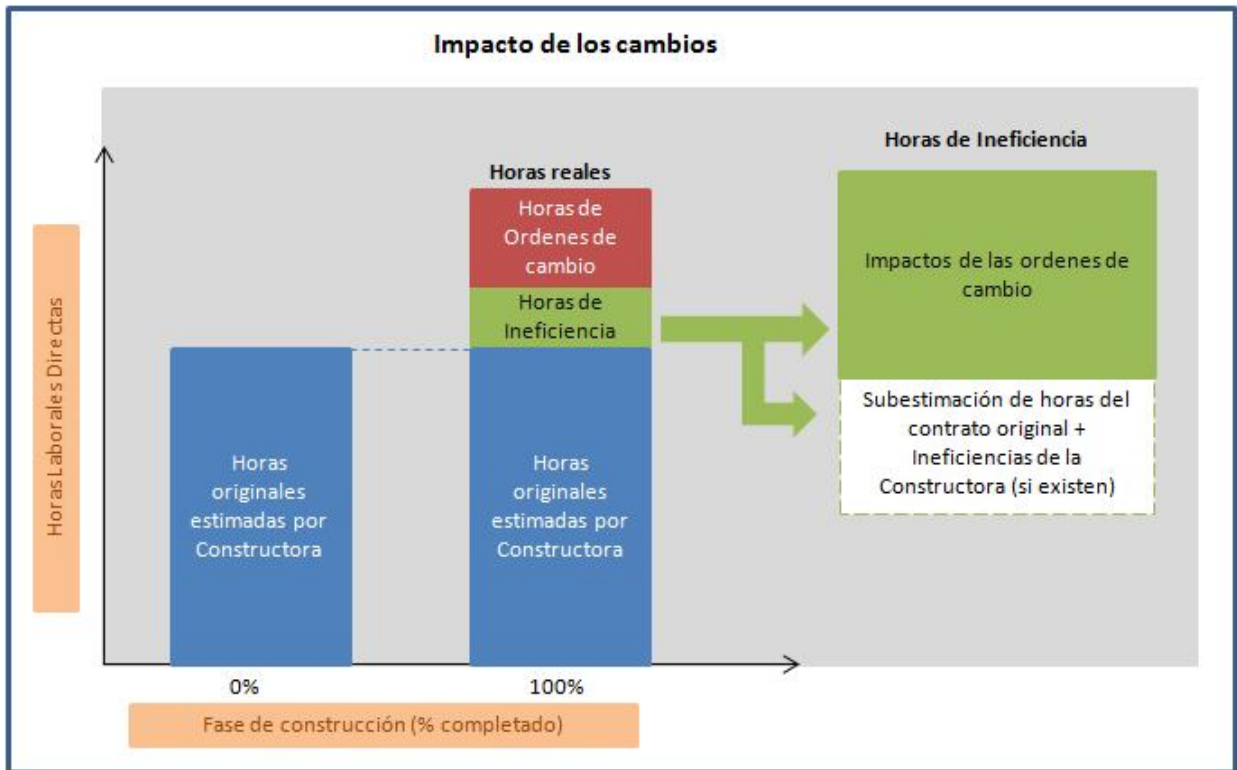
Como se expuso anteriormente, los cambios tienen un efecto negativo sobre la productividad de la mano de obra, lo que genera que en la ejecución de los cambios se utilice más mano de obra de lo que el contratista presupuestó en la preparación de la Nota de Cambio. Por lo tanto, los costos reales de la ejecución de los cambios solicitados por el mandante resultan mayores a los presupuestados, lo que produce una pérdida que el contratista no tiene considerada.

Pero, los contratistas que son especialistas en realizar presupuestos y estimar plazos, se les hace muy difícil estimar el impacto que producen estas modificaciones de proyecto en el desarrollo de la obra.

Para ejecutar los cambios puede ser necesario interrumpir o atrasar las obras que no han sufrido modificaciones, o realizarlo de una manera o secuencia diferente a la originalmente planeada, todo lo cual puede producir una pérdida de productividad y un incremento de los costos.

En el gráfico siguiente se muestra el impacto de los cambios de proyectos en la cantidad de horas hombre utilizadas:





**Figura 4:** Impacto de los cambios (McEniry, 2007).

El gráfico anterior muestra que las Órdenes de Cambio generan horas hombre en la ejecución de dichos cambios, pero además horas de ineficiencias, las cuales se explican por los impactos de las órdenes en el resto de la obra, subestimación de horas del contrato original, o ineficiencias propias de la constructora.

Si bien existen varias causales que generan pérdidas de productividad de la mano de obra, los cambios al proyecto son la principal fuente introducida por el mandante (en este contrato el mandante provee el proyecto), por lo que la identificación de los métodos para cuantificar la pérdida se centran en este aspecto, dado que puede valorizarse, para efectos de determinar el impacto que se produce al contratista.

## **2.2. MÉTODOS DE ESTIMACIÓN DE PÉRDIDA DE PRODUCTIVIDAD LABORAL DEBIDO A CAMBIOS DE PROYECTOS**

### **2.2.1. Método de Leonard**

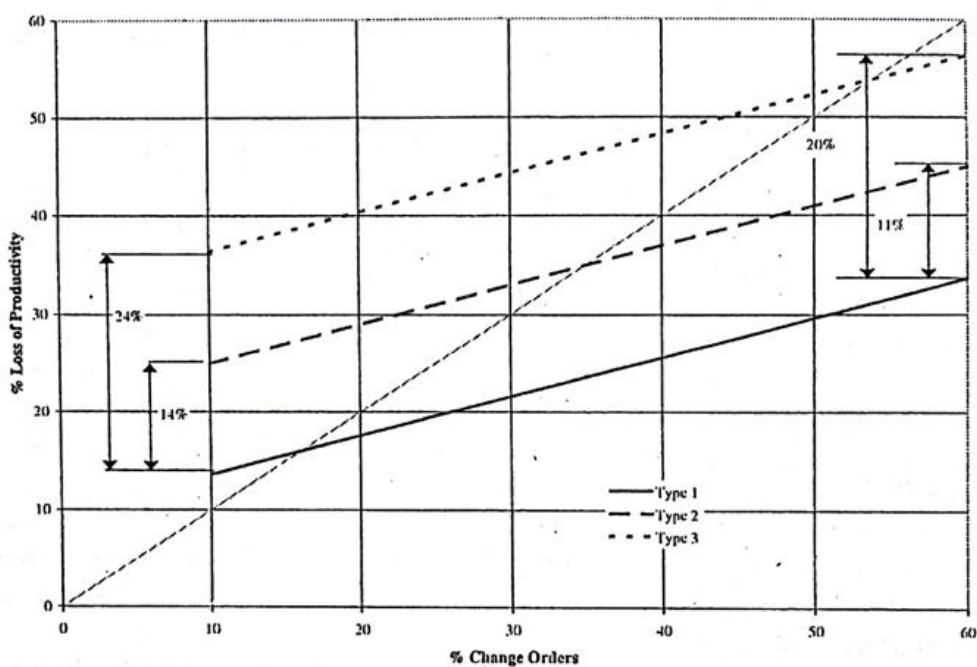
Un estudio con un fundamento empírico fue preparado por Charles A. Leonard. Como parte de su Programa de Maestría en la Universidad de Concordia (Canadá), Leonard presentó una tesis titulada “The Effects of Change Orders on Productivity” (Los efectos de Órdenes de Cambio en la productividad). Este estudio analizó los datos recopilados de 90 disputas de construcción surgidos en 57 proyectos diferentes para determinar un modelo de predicción de los impactos en la productividad de las órdenes de cambio del contrato original sin modificaciones. Leonard utilizó datos de productividad reales de los proyectos estudiados, y realizó un análisis estadístico de los datos para determinar la relación entre las órdenes de cambio y la productividad (Schwartzkopf, 2004).

Los resultados más importantes de sus análisis con respecto a la relación entre las órdenes de cambio y la productividad son los siguientes:

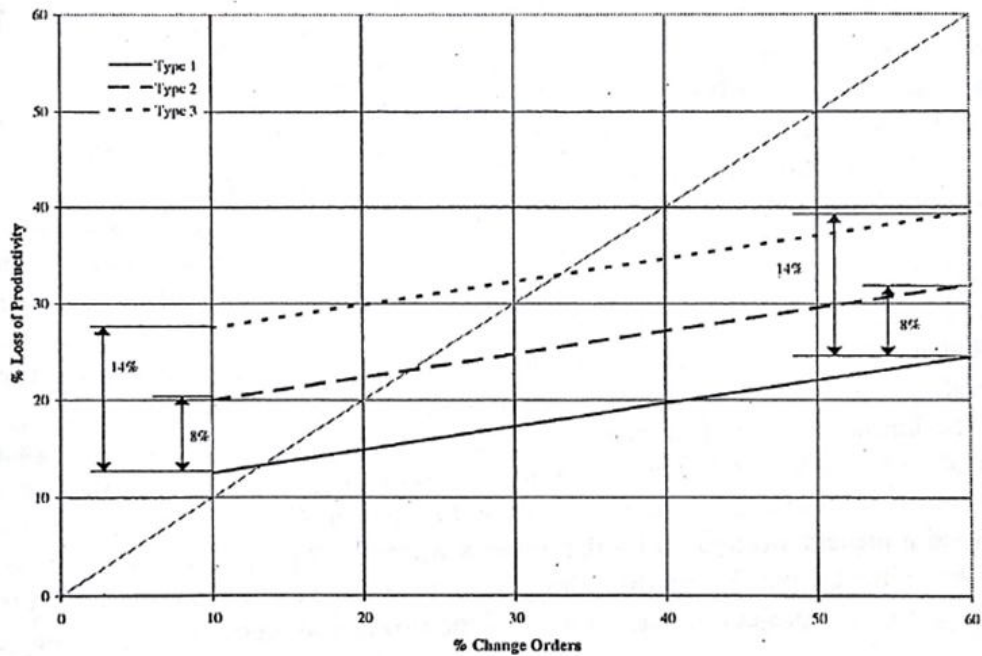
1. El número de órdenes de cambio emitidas no era un indicador preciso de la pérdida de productividad debido a que el coeficiente de correlación entre el número de órdenes de cambio y la pérdida de la productividad era baja.
2. El coeficiente de correlación era bajo cuando se comparaba el tamaño medio de las órdenes de cambio con la pérdida de productividad (El tamaño medio de las órdenes de cambio está determinado como las horas de orden de cambio dividido por el número de órdenes de cambio).
3. Existe un alto grado de correlación entre la pérdida de la productividad del trabajo y el porcentaje de horas de orden de cambio referidas al total de horas de contrato.

4. No existe una correlación específica entre la pérdida de la productividad del trabajo y las horas de órdenes de cambio cuando las horas de orden de cambio son menos del 10% de las horas de contrato base. Pero, cuando las horas de orden de cambio son iguales o mayores al 10% de las horas de de contrato base, la pérdida de la productividad aumenta de forma más o menos lineal
  
5. Los efectos de otros impactos adversos sobre la productividad agravan el impacto de las órdenes de cambio en la productividad laboral perdida.

La investigación de Leonard se puede resumir en los gráficos ilustrados en las figuras siguientes, para los contratos eléctricos y mecánicos y para los contratos civiles y de arquitectura.



**Figura 5:** Ordenes de cambio vs. Pérdida de Productividad para Contratos Eléctricos y Mecánicos (tipo 1, 2 y 3). (Schwartzkopf, 2004)



**Figura 6:** Ordenes de cambio vs. Pérdida de Productividad para Contratos Civiles y de Arquitectura (tipo 1, 2 y 3) (Schwartzkopf, 2004).

Las tres curvas indicadas en los gráficos anteriores representan los siguientes escenarios:

- Tipo 1, cuando el único gran impacto en la productividad fueron las órdenes de cambio
- Tipo 2, cuando otro(\*) factor de impacto estuvo presente
- Tipo 3, cuando otros(\*) dos factores de impacto estuvieron presentes

Nota: (\*) los otros factores que afectan la productividad del trabajo, según la definición de Leonard, son la inadecuada coordinación y la programación, la aceleración, el acceso impedido a la zona de trabajo, y el cambio de prioridades.

Cabe señalar que la clasificación tipo 1, 2 y 3 está sujeta a la interpretación del usuario lo que genera una incertidumbre en el cálculo si es que no se sabe exactamente cuál fue la causa de la ineficiencia.

Leonard advirtió que sus resultados sólo eran buenos para las órdenes de cambio de 10% a 60%.

Leonard utiliza el siguiente cálculo para determinar la pérdida prevista de la productividad:

$$\% \text{ Ordenes de Cambio} = \frac{\text{Horas Hombre de Ordenes de Cambio}}{\text{Horas Hombre de Contrato Base}}$$

Leonard indica que las Horas Hombre de órdenes de cambio corresponden a las Horas Hombre realmente gastadas en la ejecución de las órdenes de cambio, pero en su ausencia se pueden considerar las Horas Hombre de las órdenes de cambio presupuestadas. (The Effects Of Change Orders on Productivity”, Charles A. Leonard, 1988).

Las horas del contrato base (contractuales reales) se calculan restando Horas Hombre orden de cambio y cualquier Hora Hombre improductivas atribuibles a ineficiencias contratista, tales como deficiencias de reparación y la interrupción del trabajo, y las inclemencias del tiempo.

La cantidad de horas improductivas en el trabajo original del contrato se calcula multiplicando porcentaje de pérdida de productividad por hora contractuales reales, y dividiendo por 100.

Se selecciona el gráfico apropiado, Contratos Eléctricos y Mecánicos o Contratos Civiles y de Arquitectura, luego el porcentaje de ineficiencia se determina usando el porcentaje de órdenes de cambio determinado por la fórmula. El porcentaje de ineficiencia, obtenido del gráfico se multiplica por las horas reales de contrato base para determinar las horas-hombre ineficientes u horas de impacto, causadas por los cambios.

Una ventaja de este cálculo es que no se basa en la estimación inicial del contratista. En lugar de ello, calcula las ineficiencias basadas enteramente en cifras reales horas de trabajo. El estudio de Leonard es un método que predice ineficiencia, y cuando los datos reales están disponibles, el estudio de Leonard se debe utilizar para validar la ineficiencia predicha.

Por ejemplo, considere un caso en el que según lo presupuestado por el contratista, el número de horas necesarias para un proyecto era de 10.000 horas, pero que 20.000 horas fueron realmente gastadas, incluyendo 6.000 horas trabajadas y pagadas en las órdenes de cambio.

Suponiendo por simplicidad que no hay horas de ineficiencia que podrían atribuirse directamente en el contratista, la eliminación de las horas de la orden de cambio deja 14.000 horas efectivamente trabajadas en el contrato de base (incluida la pérdida de productividad debido a los cambios). El % de Ordenes de cambio es 43% (6.000 horas de órdenes de cambio ÷ 14.000 horas reales de contrato de base). La pérdida de productividad es 29% (considerando la curva Tipo 2 para contratos civiles y Arquitectura). En consecuencia, se perdieron 4.000 por improductividad, de un total de 14.000 horas efectivamente trabajadas en el contrato base. (IBBS and McEniry, 2008)

### **2.2.2. Método de Ibbs**

El método Ibbs<sup>4</sup>, analiza la pérdida de productividad, producida en una obra de construcción, debido a los efectos de las modificaciones de obra (Cambios de proyecto), las que son solicitadas y/o generados por El Mandante.

Uno de los métodos originalmente utilizados para determinar la pérdida de productividad corresponde al método de Leonard (1986), presentado anteriormente, que es un estudio estadístico de 57 proyectos que introduce la correlación entre los cambios de proyectos y la pérdida de productividad. Ibbs actualiza dicho método en los años 1995 y 2005, analizando 170 proyectos del sector público y privado, en diferentes estados de avance y sus montos varían desde los US\$2 millones a US\$14.000 millones, con un valor promedio de US\$44 millones.

El método define que los cambios afectan a las mismas obras que sufren los cambios, y también el resto de la obra. Generalmente los cambios solicitados al proyecto, son valorizados en el costo y tiempo que requiere desarrollar las obras, pero no se evalúan los costos en el resto de las partidas afectadas, que también son impactadas por los

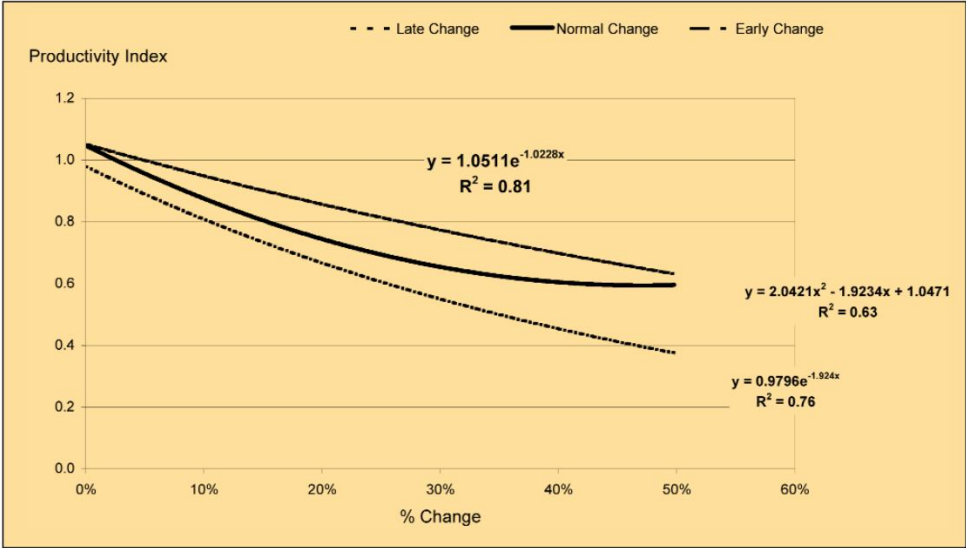
---

<sup>4</sup> William Ibbs, Profesor de Construction Management, Departamento de Ingeniería Civil y Medio Ambiente de la Universidad de California, Berkeley.

atrasos, cambios de secuencia, redistribución de recursos, la proximidad del cambio con el avance de obra, etc., lo que conduce a una pérdida de productividad e incremento de costo.

lbbs recolecta información de 170 proyectos en un plazo de 12 años, considerando proyectos públicos como privados, de variados tamaños y costos, y tanto proyectos en reclamaciones, como sin ellas, y además proyectos con distintos estados de avance. lbbs no hace distinciones entre los tipos de proyecto (por ejemplo arquitectura/civil o mecánica/eléctrica), por considerar insignificante el impacto de diferencia, estableciendo tres curvas de comportamiento de proyectos.

**Figura 7.** Curvas de temporalidad de cambios (lbbs and McEniry , 2008)



El método considera tres curvas, cada una se hace cargo de la temporalidad de la introducción de un cambio en el proyecto. En efecto, si el cambio se encuentra en una edad temprana del proyecto, el impacto es menor permitiendo anticiparse y reprogramar si es necesario en la obra; en contraste, si el cambio es tardío en su oportunidad, el impacto es alto, por la reestructuración, ajustes, y las consecuencias en las partidas sucesivas.

Al observar las curvas de temporalidad de los cambios se tiene que las curvas normal y temprana, para porcentajes de cambio menores a 6% (aproximadamente), indican

productividades mayores al 100%, lo que no sería real. Por este motivo se recomienda, en estos casos, el uso de este método para porcentajes de cambios mayores al 6%.

Para calcular la pérdida, Ibbs establece que primero se debe conocer el porcentaje de cambio de una obra, para lo cual se usa la siguiente fórmula:

$$\% \text{ cambios} = \frac{HH \text{ directas asociadas a adicionales del contrato}}{HH \text{ directas reales del contrato}}$$

Donde:

- HH directas asociadas a adicionales del contrato: son las HH incurridas en obras adicionales, extraordinarios y/o disminuciones, que se encuentran aprobadas por el mandante. Corresponden a trabajos de personal pertenecientes a la constructora y a subcontratos, sin considerar a la supervisión y personal indirecto como jornal de aseo, capataces, entre otros.
- HH directas reales del contrato: son las HH gastadas en todo el proyecto (incluyendo los cambios) a la fecha del análisis. Corresponde tanto a trabajos de personal de la constructora en todo el proyecto, sin considerar al personal indirecto.

Dependiendo de la temporalidad del cambio, la productividad tiene diferentes comportamientos, las tres curvas que permiten separar dichos comportamientos de productividad son las siguientes:

- Temprana: Proyectos con el 20% del avance completado, y con porcentajes de cambios reconocidos de 50%.

$$Productividad (\%) = 1,0511 \times e^{-1,0228 \times \% \text{ cambios}}$$



- Normal: Proyectos con 40% de avance y con porcentajes de cambios reconocidos de 50%.

$$Productividad (\%) = 2,0421 * (\%cambios)^2 - 1,9234 * \%cambio + 1,0471$$

- Tardía: Proyectos con 70% de avance y con porcentajes de cambios reconocidos de 50%.

$$Productividad (\%) = 0,9796 \times e^{-1,924 \times \%cambios}$$

Por lo tanto, la Pérdida de Productividad se obtiene de:

$$Pérdida de productividad = 100\% - Productividad (\%)$$

### 2.2.3. Método de Agrupación Estadística

El Método de agrupación estadística (o *K-means method* en la literatura en inglés) busca, a partir del análisis de datos reales de la obra, determinar la línea base del proyecto (mejor desempeño de la constructora) para estimar la pérdida de productividad que pudo experimentar la obra. Este análisis determina la pérdida de productividad total que experimentó la obra, sin distinguir las causas que lo producen, ya sean propias de la constructora o generada por factores externos, como el mandante.

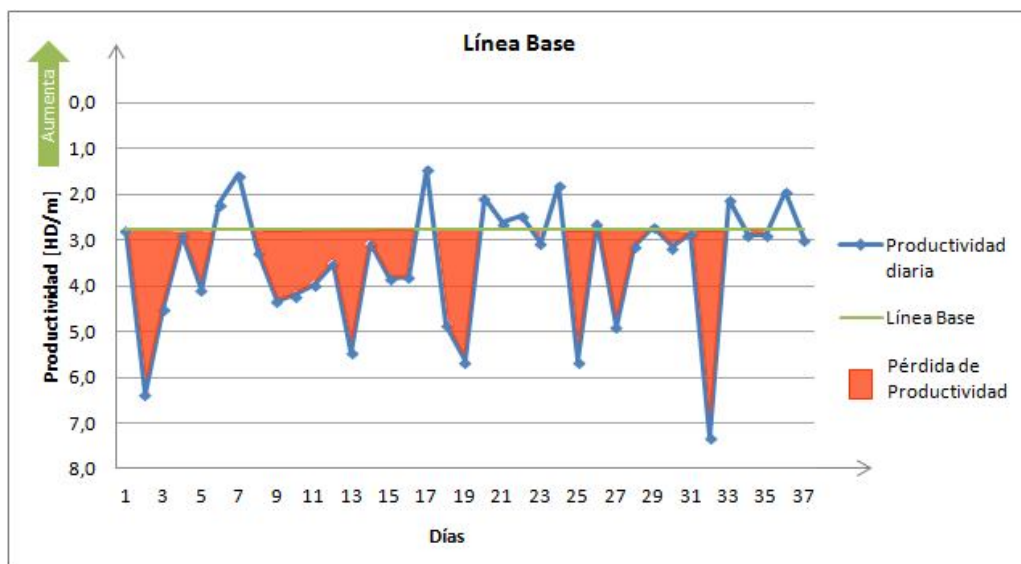
Algunas definiciones:

- **Línea base:** Corresponde a un promedio estadístico, de los mejores valores de productividad real de una obra, con lo cual se pueden establecer esta línea base como la productividad que podría tener la constructora sin verse afectada por factores internos (ineficiencias propias de la constructora) o por factores externos (impactos del mandante o terceros).

- **Pérdida de Productividad:** Corresponde a la diferencia que se produce entre los valores de productividad registrada por debajo de la Línea Base y la Línea Base. Es decir, en los momentos en que se registran bajas de productividad de la mano de obra, ocasionada por distintos factores, se produce una pérdida de productividad al compararla con la productividad estándar que puede desempeñar la constructora, establecida mediante la línea base.

A continuación se muestra un gráfico que muestra el comportamiento de las productividades y la línea base, de un caso real de análisis de instalación de ductos de ventilación de aire acondicionado (Ibbs, 2005)

**Figura 8.** Comportamiento de Pérdida de productividad (Ibbs, 2005)



De la figura anterior se observa que las productividades más altas son las cercanas a cero, dado el indicador de productividad de HD/m (Hombre Día/metros lineales), es decir, a menor cantidad de horas necesarias para completar un metro de ductos, es mejor la productividad, mientras que si las horas de dedicación aumentan para completar un metro de ductos, el indicador de productividad se hace más grande, lo que indica que la productividad va disminuyendo.

También, se observa que entre las mejores productividades, se obtiene la línea base de la partida, y que la diferencia entre el valor de la línea base y las productividades que están por debajo de la Línea Base, se genera la pérdida de productividad.

La productividad laboral de una obra de construcción puede ser medida a partir de los datos reales de la obra, como son: Cantidad de Horas Hombres utilizadas y Cantidades de obras ejecutadas. Estos valores de productividad van variando a lo largo de la obra, encontrando momentos de alta productividad, es decir, con poca utilización de horas hombre para una determinada cantidad de obra ejecutada, o momentos de baja productividad, donde la cantidad de horas hombres utilizada es mayor para la misma cantidad de obra ejecutada.

Estas diferencias de productividad se deben a que la productividad laboral puede verse afectada tanto por factores internos de la constructora como por factores externos (como impactos del mandante), los cuales alteran los rendimientos de la mano de obra, traduciéndose en mayores costos para la empresa constructora.

Para cálculo de línea base, el método opera con datos estadísticos, y en base a varias iteraciones, con lo cual se eliminan las subjetividades utilizadas en otros métodos similares de cálculo de línea base, que están dados por los criterios tomados por los analistas. El método busca identificar dos grupos o “cluster” de productividades del proyecto, las altas y bajas productividades. Las altas productividades de obra son aisladas, y definen en conjunto la línea base del proyecto, en cambio las bajas productividades no se consideran para la determinación de dicha línea base.

El método requiere, como datos para el análisis, las HH (horas hombre) gastadas periódicas de un intervalo de tiempo, con la respectiva producción de la partida, permitiendo calcular la razón de productividad, como sigue:

$$\text{Indicador de Productividad}_{\text{semanal}} = X_i = \frac{\text{HH semanales de partida}}{\text{Producción semanal de partida}}$$

Luego se establece la primera iteración de los datos, donde se agrupan en dos grupos, según los siguientes centros de grupos:

$$C_{1o} = \text{Max}(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

$$C_{2o} = \text{Min}(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

Donde  $x_1$  es el primer punto,  $x_2$  el segundo, y  $x_n$  el n-ésimo punto. Es decir, el mínimo, y el máximo del indicador de productividad, son los centros de grupos.

Luego el indicador de productividad se agrupa según el siguiente esquema:

$$D_{x_i1_j}(x_i, c_{1j}) = \sqrt{(x_i - c_{1j})^2},$$

$$D_{x_i2_j}(x_i, c_{2j}) = \sqrt{(x_i - c_{2j})^2},$$

Y si  $D_{x_i1_j}(x_i, c_{1j}) < D_{x_i2_j}(x_i, c_{2j})$  entonces  $x_i \in C_{1j}$  y  $c_{1j} = \frac{\sum_{x_i \in C_{1j}} x_i}{N_{1j}}$

De lo contrario,  $x_i \in C_{2j}$  y  $c_{2j} = \frac{\sum_{x_i \in C_{2j}} x_i}{N_{2j}}$

Donde,  $C_{1j}$  = primer grupo de la j-ésima iteración, y  $C_{2j}$  = segundo grupo de la j-ésima iteración,  $N_{1j}$  = numero de datos en el primer grupo en el j-ésima iteración, y  $N_{2j}$  = numero de datos en el segundo grupo en el j-ésima iteración.

Es decir, se saca la distancia euclidiana entre el punto y el centro, para definir a que centro pertenece, y la menor distancia entre la comparación a los centros define a qué grupo pertenece el punto. Con esto, se actualiza el grupo, el promedio del grupo, que será los nuevos centros de grupos.

Se repite la iteración desde la fórmula 4, hasta que no existen más cambios en los valores de los centros de los grupos. El primer centro define la línea base donde la productividad es mayor.

Para obtener la pérdida de productividad, que corresponde a la diferencia que se produce entre los valores de productividad registrada por debajo de la Línea Base y la línea base, se utiliza la siguiente fórmula:

$$HH_{p\acute{e}rdida} = HH_{gastadas} - \text{Indice de Productividad}_{\text{l\acute{i}nea base}} \times \text{Producci\acute{o}n} > 0$$

La ecuación anterior se tiene que:

- Las HH gastadas: Son la Cantidad total de Horas Hombre gastadas en la obra.
- El Índice de productividad  $\text{l\acute{i}nea base} \times \text{Producci\acute{o}n}$ : corresponde a la Cantidad de Horas Hombre gastadas en la obra en “condiciones normales”.
- Las HH perdidas: son la cantidad de Horas Hombre improductivas

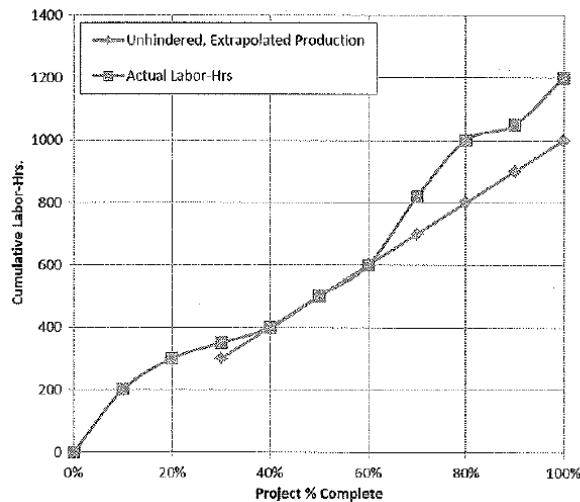
#### **2.2.4. Método de la Milla Medida**

Zink (1986) introdujo el concepto de la Milla Medida, el cual ha sido un método de más utilizado en reclamaciones por los contratistas para cuantificar la pérdida de productividad de la mano de obra directa en los proyectos de construcción (pérdida de productividad del costo directo). El objetivo de este método consiste en comparar la productividad durante períodos de un proyecto que han sido afectados adversamente por los eventos causales excusables o indemnizables no previstos con la productividad durante el o los períodos que no fueron afectados, o que estaban sin obstáculos.

Este periodo sin impacto en el desempeño laboral se conoce como la "milla medida", que se utiliza como base para predecir la productividad laboral y por ende el resultado final del trabajo en horas-hombre y costos)<sup>5</sup>.

---

<sup>5</sup> Measured Mile, Holloway Consulting group, LLC, <http://www.disputesinconstruction.com/measured-mile-construction-labor-productivity/>



**Figura 9:** Concepto de Milla Medida (Ibbs, 2012)

En la figura anterior la curva de hora-hombre real (Actual Labor-Hrs) muestra la producción real del contratista en diferentes puntos en el tiempo, de principio a fin. La pendiente de la curva en un punto determinado en el tiempo es la productividad real en ese momento en particular (Unhindered, extrapolation production= Extrapolación de la producción sin obstáculos). A menudo se da el caso de que hay un período de disminución de la productividad en el inicio del proyecto, debido a la curva de aprendizaje y otros efectos de puesta en marcha de la obra. Esto se ilustra por la parte no lineal de esta curva, en el lado a mano izquierda de la figura. Entonces, el proyecto realiza su paso (la parte lineal de la curva entre los puntos completos 40% y 60%). Más tarde, algún evento interrumpe el proyecto y crea tasas de productividad más bajas, como se refleja en la curva superior, no lineal en el lado derecho. La porción lineal en el rango de este ejemplo 40% a 60% se extrapola y se utiliza como la milla medida o período de referencia no impactada. La diferencia entre las dos curvas desde el 60% de avance se calcula para estimar el porcentaje de pérdida de productividad (LOP). (Ibbs, 2012)

Nelson (2011) presenta los siguientes supuestos y requisitos para la utilización de la técnica de milla medida:

- En primer lugar, debe haber un período no impactado o menos impactado, el llamado período de "milla medida", para el tipo específico de trabajo que se está evaluando. Los factores negativos que afectan a la productividad durante el

período milla medida, en su caso, debe ser exclusivamente imputables al contratista.

- En segundo lugar, la duración de este período debe ser significativa en comparación con el periodo afectado y el curso del trabajo. No sería razonable extrapolar 2% de avance en 80% de los costos esperados.
- En tercer lugar, deben estar disponibles para el análisis una cantidad suficiente de los datos reales del proyecto.

Las unidades físicas de trabajo terminado tienen que ser registradas periódicamente de modo que las horas de trabajo acumuladas se pueden trazar a través del transcurso del trabajo.

- En cuarto lugar, los datos del proyecto se supone que son libres de errores. Es decir, la documentación real debe ser registrada con precisión por el contratista.
- Por último, todas las interrupciones durante el período afectado son las acciones o inacciones de debido a una de las partes (del mandante, por ejemplo). Además, se destaca que se deben retirar del análisis del periodo afectado las situaciones que se produjeron durante el periodo de milla medida, que afectan la productividad, pero que no están relacionadas con los impactos reclamados.

Cabe señalar que la AACE (2015) recomienda excluir los primeros y últimos 10% del análisis porque la productividad durante estos períodos puede verse afectado por la acumulación debido a los retrasos de la puesta en marcha de la partida y efectos de acumulación en la etapa final de la partida. Esta recomendación concuerda con lo indicado anteriormente, respecto de que se debe dejar fuera la etapa inicial o puesta en marcha de la partida.

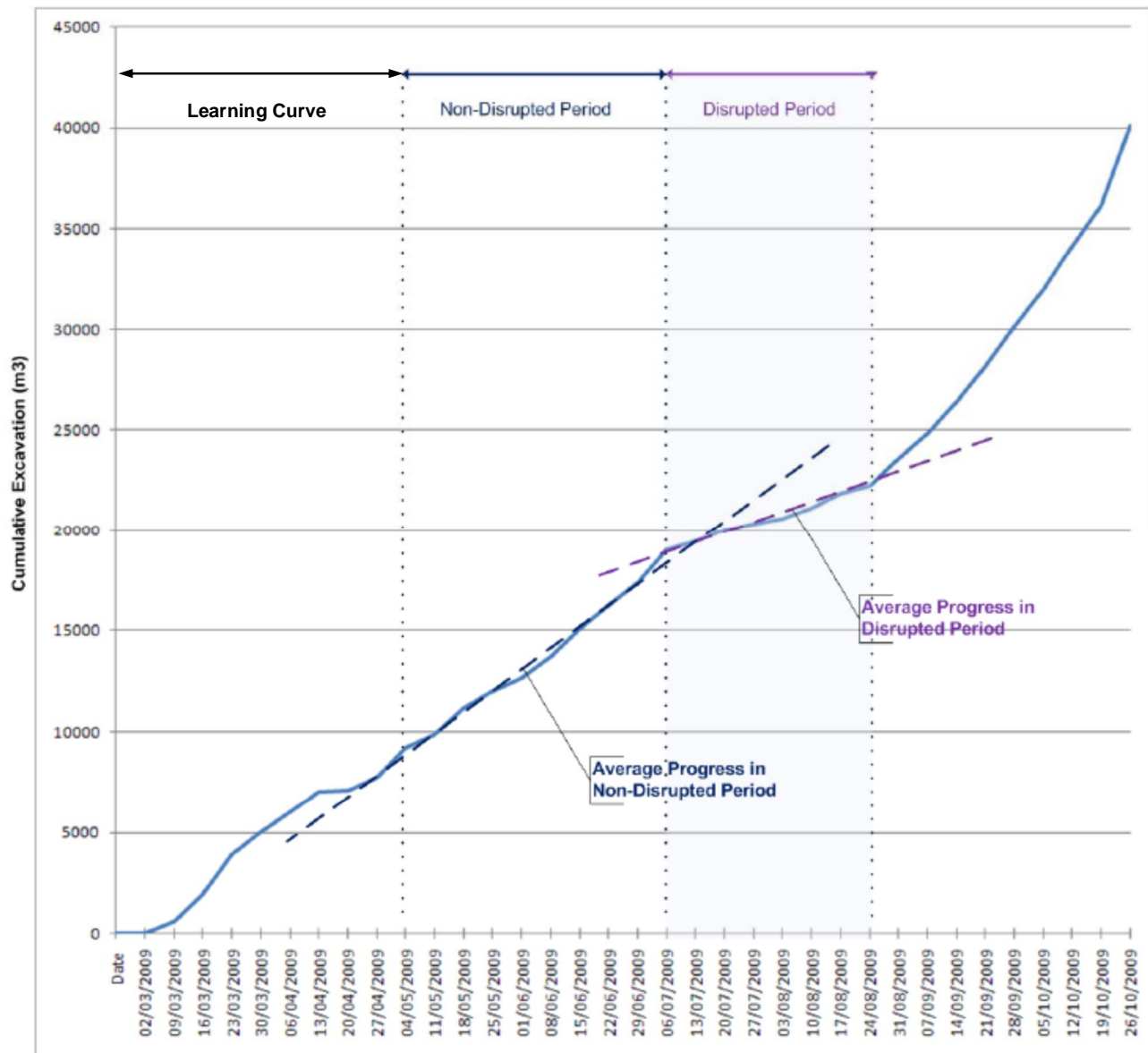


Figura 10: Determinación de la Milla Medida para una obra de excavación.  
(Nelson, 2011)

La figura anterior se destaca tres zonas:

- El periodo inicial o puesta en marcha, (el 10% inicial que recomienda la AACE). El cual no se indica en el gráfico original presentado por Nelson.
- Un período no interrumpido de excavación, en la cual la cuadrilla ha alcanzado su rendimiento óptimo (Milla Medida).



- Un período posterior interrumpido, cuando el volumen de excavación por unidad de tiempo se ha visto afectado negativamente por las restricciones operativas y de acceso impuestos al contratista.

“El método de la milla medida” ha adquirido credibilidad y apoyo como un método aceptable para identificar, cuantificar y evaluar la pérdida de productividad, particularmente en Estados Unidos donde los tribunales aprueban su uso. En el Reino Unido, el protocolo sobre los retrasos e interrupciones emitido el 2002 por the Society of Construction Law, también apoya el análisis de “La Milla Medida”. La guía pone el protocolo en cuestión de la siguiente manera: “El camino más apropiado para establecer la ruptura es aplicar la técnica La Milla Medida. Ésta compara la productividad alcanzada sobre una parte del contrato no impactada con la alcanzada por la parte impactada. Este factor de comparación aleja los problemas concernientes a programas irreales y trabajos ineficientes. La comparación puede ser hecha sobre los gastos de horas-hombre o las unidades de trabajo realizados.

La fortaleza de la milla medida es que utiliza para los cálculos el cumplimiento del contrato real en lugar de la estimación inicial, es decir, compara el rendimiento real en terreno, no el rendimiento teórico previsto (Nelson, 2011).

Sin embargo se debe tener cuidado al comparar por comparar, por ejemplo, no sería correcto comparar el trabajo realizado en la parte de la curva de aprendizaje de una operación con el trabajo ejecutado después de ese periodo.

Dado que, el objetivo del método consiste en comparar la productividad durante los periodos de un proyecto que se han visto afectados por acontecimientos imprevistos y compararlos con los periodos que no se vieron afectados o que se ejecutaron sin inconvenientes, se debe crear una matriz de causas y efectos ocurridos en la obra que den cuenta de los impactos en la productividad.

Esta metodología es altamente dependiente de los libros de registros del contratista y también sobre la presencia de un área o periodo no impactado e impactado para poder realizar la comparación o establecer la relación de productividad.

Por lo tanto, esta metodología no se puede aplicar en proyectos de construcción en los cuales faltan los registros detallados de productividad y/o falta un área no impactada adecuada.

Como ejemplo de este método se presenta lo siguiente (AACE, 2015):

Período sin interrupción (Milla Medida) - Un contratista necesitó 4.000 horas de mano de obra para instalar 2.500 pies de tubería. El número de horas de trabajo (4.000) dividido por la producción (2.500 pies de tubería) da un porcentaje de productividad de 1,6.

Periodo interrumpido: Durante un período impactado, el contratista instaló 1500 pies de tubería, con 4.600 horas de trabajo. El número de horas de trabajo (4.600) dividido por la producción (1.500 pies de tubería) da un porcentaje de productividad de 3,07.

Cálculo de la pérdida de productividad: Restando el porcentaje de productividad durante el período impactado (3,07) con la relación de la productividad durante el período no impactado (1,6) da una relación de improductividad de 1,47. Esta relación improductividad ahora le permite determinar el número de horas-hombre improductivas multiplicando el cociente improductividad (1,47) por el desempeño improductivo (1.500 pies de tubería), lo que resulta 2.200 horas-hombre improductivas.

Por lo tanto, en total se instalaron 4.000 pies de tubería con 8.600 horas-hombre. Pero, de no haber existido interrupciones, el trabajo se habría desarrollado con 6.400 horas-hombre.

### 2.2.5. Método del Costo Total

La ecuación básica para un análisis de costo total de mano de obra es la siguiente:

$$\text{Costo total de Mano de obra (M/O) reclamada} = \text{Costo total de M/O gastada} - \text{Costo total del M/O presupuestada}$$

Este método de estimación de daños se puede aplicar a todo el proyecto, si la pérdida de la productividad se ha extendido a todo el trabajo. En la alternativa, esta técnica de estimación se puede aplicar a una determinada área del trabajo (es decir, ventanas, albañilería, etc.) si sólo las áreas o temas de trabajo específicos fueron impactadas. También se puede aplicar sólo a ciertos equipos de trabajo artesanal, si se puede demostrar que sólo ciertos equipos de trabajo estaban sujetos a la pérdida de productividad. Es, sin embargo, el método menos aceptado para calcular pérdida de productividad laboral.

Cuando se utiliza una metodología de base de costos, el contratista debe recordar que los costos laborales son una función tanto del número de horas-hombre y el costo unitario de estas horas. Por lo tanto, el trabajo total costo gastado podrá superar el costo laboral total pagado debido a un aumento en el costo unitario promedio del trabajo no es una pérdida de productividad (es decir, más horas gastadas de lo previsto). Mientras que muchos de los factores que afectan la productividad también pueden aumentar el costo unitario de la mano de obra, puede haber otras circunstancias sobre el proyecto que aumenta el costo unitario de la mano de obra (es decir, una unión que requiere una diferente mezcla de los aprendices a los jornaleros) que no están relacionados con los que afectan a la productividad. Por lo tanto, es una práctica recomendada que el demandante aborde por separado tanto las pérdidas de productividad (es decir, aumento de las horas) y las diferencias en el costo unitario de la mano de obra, cuando se utiliza este método.

En la utilización de esta práctica, para protegerse de las posibles inequidades contenidas en la fórmula anterior, los reclamantes también deben ser conscientes de que un número de obstáculos legales deben superarse, si se quiere tener éxito en el

uso de este enfoque en su reclamación. Para utilizar este método de fijación de precios de los daños, el contratista debe demostrar las siguientes pruebas.

1. Que la naturaleza de las pérdidas reclamadas hacer impracticable o imposible determinar los daños y perjuicios de cualquier otro modo más preciso.
2. Que la oferta o estimación del contratista era razonable y libre de errores materiales o subestimaciones en la oferta.
3. Que los costos reales del contratista eran razonables (lo que significa que el reclamante tiene el reto de la prueba de mitigación de daños).
4. Que el contratista no fue responsable de cualquiera de los eventos que conducen a la pérdida de productividad.

Suponiendo que el contratista puede superar estas cuatro pruebas, esta práctica se convierte en un método válido para la estimación de los daños de pérdida de productividad.

Como ejemplo de Método de Costo Total, se presenta la siguiente tabla:

Descripción	HH presupuestadas	HH utilizadas en la obra	Diferencia de HH	Costo HH (\$)
Actividad 1	1.000	1.200	200	3.520
Ordenes de cambio aprobadas	200	250	50	3.520
Total	1.200	1.450	250	3.520

Con los datos de la tabla anterior se tiene que la cantidad total de reclamación será de  $250 \text{ Hrs} \times \$ 3.520 = \$880.000$

Aun cuando, el método de costo total no es muy aceptado para el cálculo de la improductividad, se puede utilizar como parámetro de comparación para otros métodos más aceptados.

Dado que, este método refleja la improductividad total que ha sufrido el contratista en una obra, este resultado se puede considerar como un límite máximo de improductividad, al asumir que el contratista no tuvo error alguno en la obra. Por lo tanto, al utilizar otro método y comparar su resultado con el resultado obtenido con el método del costo total, este debería ser menor, lo que daría mayor validez al reclamo del contratista frente al mandante.

## 2.2.6. Método del Costo Total Modificado

Este método es el mismo que el método del costo total, salvo que el contratista resta los errores conocidos del presupuesto de licitación, los costos excesivos, problemas de ejecución en que el contratista fuese responsable, etc. Como resultado, la fórmula es la siguiente.

$$\text{Costo total de Mano de obra (M/O) reclamada} = \text{Costo total de M/O gastada} - \text{Costo total de M/O presupuestada} - \text{Costos de M/O por errores del contratista}$$

El contratista, luego de utilizar este método todavía se enfrenta a superar el reto de la prueba de cuatro partes establecido en el método anterior. No es recomendable utilizar este método cuando existe la posibilidad de usar un método más creíble. Sin embargo, al restar los problemas del contratista a los demás costos de la ecuación, el contratista se ocupa de las tres últimas pruebas de manera afirmativa. Del mismo modo, un contratista que corrige sus errores ya sea en su oferta o su presupuesto hará frente, al menos en parte, a la segunda, tercera y cuarta de pruebas descritas en el método anterior del “Método del Coto Total”.

Como ejemplo de Método de Costo Total Modificado se presenta la siguiente tabla:

Descripción	HH presupuestadas	HH utilizadas en la obra	Diferencia de HH	Costo HH (\$)
Actividad 1	1.000	1.200	200	3.520
Ordenes de cambio aprobadas	200	250	50	3.520
Trabajos rehechos	0	-100	-100	3.520
Total	1.200	1.350	150	3.520

Con los datos de la tabla anterior se tiene que la cantidad total de reclamación será de 150 Hrs x \$ 3.520 = \$528.000.

Otros errores comunes del contratista son:

- Partidas del presupuesto que tienen precios unitarios o rendimientos de mano de obra subvalorados, que están por debajo del precio o rendimiento normal considerados en la industria.
- Cualquier hecho de responsabilidad del mandante que signifique gasto de mano de obra no incluido en el presupuesto o en las notas de cambio aprobadas por el mandante y que puedan ser fácilmente cuantificadas.

Este método puede ser un buen punto de partida para que el contratista comience la discusión con el mandante ya que al deducir el costo de los errores del contratista (entre ellos los trabajos rehechos), para los que el propietario no tiene responsabilidad, se añade credibilidad a la reclamación.

Otra característica positiva de este método es que se puede hacer el análisis para una partida en particular aislándola del resto de la obra, sobre todo cuando se tiene claridad de los errores propios del contratista en esta partida, y que por lo tanto, pueden ser fácilmente identificados por el mandante.

### **2.2.7. Análisis del Valor Ganado**

La medición de la productividad es a veces difícil cuando no hay suficiente información en relación con las unidades físicas de trabajo instalados en el proyecto. En estas situaciones, se puede utilizar una forma sencilla del método de análisis de valor ganado para el cálculo de las horas de trabajo estimadas.

El Valor Ganado es una metodología de gestión para integrar el alcance, cronograma y recursos, y para medir el rendimiento y el avance del proyecto en forma objetiva. El rendimiento se mide determinando el costo presupuestado del trabajo realizado (es decir, el valor ganado) y comparándolo con el costo real del trabajo realizado (es decir, el costo real). (Alba,s.f.)

La estimación del contratista, o, alternativamente, el valor de las aplicaciones de pago, montos de los contratos o de los precios unitarios se pueden utilizar para determinar las horas de trabajo, cuando se gastaron y, posiblemente, en qué actividades. Las unidades físicas de la obra terminada multiplicadas por los precios unitarios de presupuesto pueden ser utilizados para determinar las horas ganadas. Las horas ganadas se comparan con las horas reales gastados en el período del impacto y la diferencia entre los dos puede ser utilizado para calcular la pérdida de productividad experimentada.

La medición del valor obtenido de la documentación del proyecto real, tales como porcentajes completados de la actualización de la programación o los estados de pago pueden ayudar con el cálculo de la productividad del trabajo. Además, el demandante podrá calcular los ingresos reales por hora de trabajo en comparación con los ingresos previstos por hora, como una alternativa. El análisis del valor ganado también puede ser utilizado para calcular las horas de trabajo estimadas.

Cuando se utiliza la técnica de análisis de valor ganado, se recomienda que el presupuesto utilizado para generar los cálculos del valor ganado debe ser cuidadosamente revisado para verificar que no tenga errores. Cualquier análisis del valor ganado en base a un presupuesto con errores es altamente riesgoso.

#### **2.2.8. Factores de la MCAA**

La Asociación de Contratistas Mecánicos de América (MCAA) emitió el Boletín N ° 58 en 1976, titulado "Factores que afectan la productividad laboral." Este documento presenta dieciséis factores que potencialmente afectan la productividad y proporciona una gama de pérdidas de productividad para cada factor que depende de la severidad de las condiciones. Los factores incluyen: Aglomeración de trabajos, Moral y actitud, Reasignación de Recursos Humanos, cantidad de personal inadecuado, Operaciones Simultáneas, Dilución de Supervisión, Curva de Aprendizaje, Errores y Omisiones, Ocupación Beneficiosa; Ocupación Simultánea, Acceso al Sitio, Logística, fatiga, Efecto Onda, Horas Extras; y la Temporada y Cambio de Clima. La MCAA informa que estos factores están destinados a "añadir a los costos que implican los cambios y, en algunos

casos, original horas de contrato y advierte que los factores tienen por objeto servir únicamente como referencia

En 2005, la MCAA emitió un documento llamado “Change Orders, Productivity, Overtime - A Primer for the Construction Industry” (Órdenes de Cambio, Productividad, Horas Extras - Una Guía para la Industria de la Construcción). En este documento, el MCAA incluye una tabla con los mismos dieciséis “Factores que afectan la productividad laboral”. Los nombres de los factores, las descripciones y los impactos estimados se han mantenido sin cambios desde las publicaciones anteriores de la MCAA.

Los factores de la MCAA pueden ser usados específicamente para cuantificar los impactos de los cambios acumulados, separadamente de otras ineficiencias tales como aquellas provocadas por aceleración. La MCAA entrega causas típicas para cada factor de pérdida de productividad y específicamente identifica el impacto del “cambio” por la gravedad del factor (porcentaje).

La tabla con los 16 factores que afectan la productividad laboral es la siguiente:

**Tabla N°3:** Factores que afectan la productividad (MCAA, 2005)

N°	Factor	Factor de porcentaje de pérdida		
		Menor	Promedio	Grave
1	AGLOMERACIÓN DE TRABAJOS: las operaciones se realizan en el espacio físicamente limitado con otros contratistas. Resultados de la congestión de personal, la imposibilidad de localizar herramientas convenientemente, incremento en la pérdida de herramientas, los riesgos de seguridad adicionales y un aumento de visitantes. El tamaño óptimo de la tripulación no se puede utilizar.	10%	20%	30%
2	LA MORAL Y LA ACTITUD: Riesgo excesivo, la competencia de las horas extraordinarias, durante la inspección, múltiples cambios en el contrato y volver a trabajar, la alteración del ritmo de trabajo y la programación, las malas condiciones de la obra, etc.	5%	15%	30%
3	REASIGNACIÓN DE RECURSOS HUMANOS: La pérdida se produce con las llegadas o retiro de personal debido a cambios inesperados, cambios excesivos o demanda hecha para agilizar o reprogramar la finalización de ciertas fases de trabajo. La preparación no es posible para un cambio ordenado.	5%	10%	15%
4	TAMAÑO DE EQUIPOS DE TRABAJOS INEFICIENTES: Trabajadores adicionales a los equipos ya existentes "rompe" el esfuerzo de equipo original, afecta el ritmo del trabajo se aplica a las horas básicas contrato también.	10%	20%	30%
5	OPERACIONES SIMULTÁNEAS: aglomeración de la propia fuerza de trabajo de este contratista. Efecto de la adición de labores en la secuencia de trabajos	5%	15%	25%

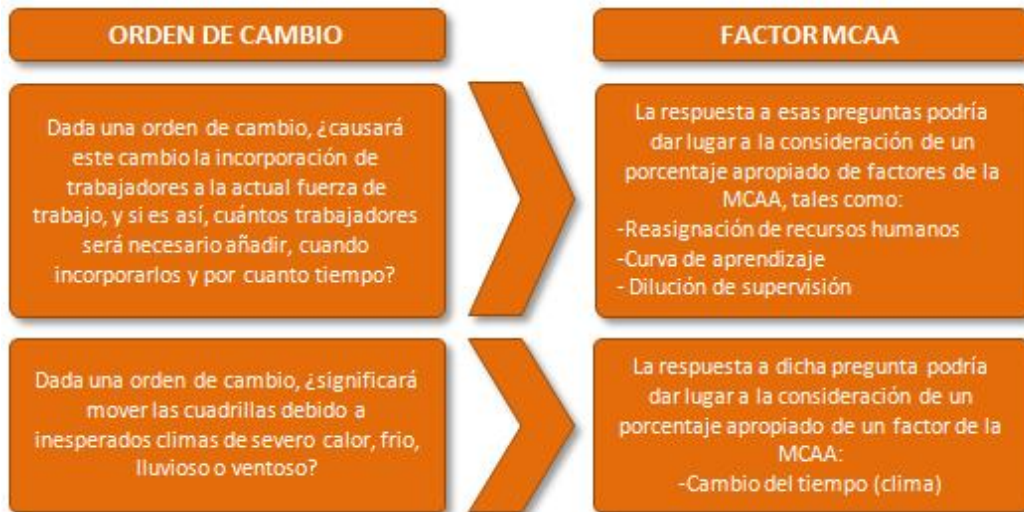


N°	Factor	Factor de porcentaje de pérdida		
		Menor	Promedio	Grave
	ya planeados. A menos que la aplicación de las operaciones adicionales sea gradual y controlada, el factor se aplicará a todas las restantes propuestas y horas de contrato.			
6	DILUCIÓN DE SUPERVISIÓN: Se aplica a ambos, al contrato básico y al cambio propuesto. La supervisión debe ser desviada para (a) análisis y cambio de plan, (b) parar y volver a planificar el trabajo afectado, (c) el comienzo, ordenar y agilizar los materiales y equipos, (d) incorporar el cambio en el horario. (e) instruir a los capataces y maestros, (f) supervisar el trabajo en progreso, y (g) las listas de chequeo, pruebas y requisitos de puesta en marcha.	10%	15%	25%
7	CURVA DE APRENDIZAJE: Período de orientación con el fin de familiarizarse con la condición cambiada. Si se añaden nuevos trabajadores a los proyectos, se generan efectos a medida que aprenden las ubicaciones de herramientas, procedimientos de trabajo, etc. Rotación de personal	5%	15%	30%
8	ERRORES Y OMISIONES: Aumentos de los errores y omisiones porque los cambios generalmente se realiza sobre la base del accidente, fuera de secuencia o causa dilución de supervisión o cualquier otro factor negativo.	1%	3%	6%
9	OCUPACIÓN ÚTIL: Trabajar sobre, alrededor o en las proximidades de personal del propietario o de los equipos de producción. También restricciones de acceso del propietario, limitación de ruido, polvo, requisitos especiales de seguridad. El uso de las instalaciones por el propietario antes de la finalización del contrato. (BENEFICIAL OCCUPANCY Etapa de construcción de un edificio o instalación, antes de final de terminación, en el que su propietario puede ocuparla para el fin que fue construido)	15%	25%	40%
10	OCUPACIÓN SIMULTANEA: los cambios generan trabajos que se tienen que realizar mientras en la instalación se están realizando otros trabajos que no han sido previstos en el contrato original.	5%	12%	20%
11	ACCESO AL SITIO: Interferencias para un acceso libre a las áreas de trabajo, la mala gestión de plataformas de trabajo o grandes y congestionados lugares de trabajo	5%	12%	30%
12	LOGÍSTICA: Materiales o muebles del propietario y problemas de resolver con personal de bodega, ningún control sobre el flujo de materiales hacia las áreas de trabajo. También cambios en el contrato que causa problemas de adquisición y entrega de los materiales y remanipulación de materiales sustituidos en el sitio.	10%	25%	50%
13	FATIGA: esfuerzo físico inusual. Si se realiza un trabajo de una modificación y luego los trabajadores regresan a su trabajo del proyecto original de contrato, estos cambios también afectan al rendimiento del contrato de base. (Sacar un trabajador que estaba desarrollando una partida del contrato original para que realice una partida nueva "un cambio" y luego vuelva a su labor inicial, afecta el rendimiento del contrato original)	8%	10%	12%
14	EFEECTO ONDA: El surgimiento de cambios mayores, más allá de lo previsto, en magnitud o cantidad, múltiples cambios El impacto de los cambios en el resto de los trabajos que no sufrieron cambios, o el impacto acumulativo de los cambios. Una solución es la solicitud, en la primera reunión de obra, de que todos los avisos de cambio sean enviados al Director de Contratos.	10%	15%	20%

N°	Factor	Factor de porcentaje de pérdida		
		Menor	Promedio	Grave
15	HORAS EXTRAS: Disminuye la producción y la eficiencia debido a la fatiga física y mental.	10%	15%	20%
16	CAMBIO de CLIMA: De cualquier clima muy caliente o muy frío.	10%	20%	30%

Los factores de la MCAA pueden ser aplicados al precio de un cambio sobre una base detallada. Una vez que el costo directo del cambio ha sido estimado (mano de obra, supervisión, materiales, equipamientos y otros costos) el contratista puede aplicar uno o más de los factores de la MCAA a la planilla desglosada del costo de la orden de cambio. Con el fin de evaluar adecuadamente lo estimado, es decir, los potenciales impactos en la productividad de la mano de obra de los cambios en el alcance, el contratista debe determinar si el cambio requiere un desvío de su flujo de trabajo productivo. Un cambio con un alcance muy limitado, que puede afectar sólo una pequeña cuadrilla, el cual puede ocurrir en un área limitada y puntual de todo el proyecto, debe tener un impacto negativo pequeño o no medible sobre la productividad. Sin embargo, tales cambios son poco frecuentes. Generalmente, los cambios ocurren en áreas más activas y en el momento en que las cuadrillas están en su peak o cerca de él. Estos tipos de cambios pueden tener un significativo efecto negativo en la productividad de la cuadrilla.

Con el fin de estimar potenciales pérdidas de productividad usando los factores del MCAA, a modo de ejemplo pueden ser planteadas las siguientes preguntas a la gestión del supervisor de la mano de obra del contratista:



**Figura 11:** Ejemplos de la relación entre ordenes de cambio y factores MCAA.

El esquema anterior señala, con algunos ejemplos, la forma en que los contratistas o los encargados de estimar la productividad deben escoger los factores de la MCAA correspondientes dada una orden cambio específica. Luego el contratista debe aplicar de forma apropiada los factores y porcentajes.

Los factores de la MCAA incluyen tres niveles de potencial impacto en la productividad: Menor, Promedio y Severo. Cada nivel de intensidad de impacto posee su propio porcentaje de pérdida de productividad (los que son indicados en la tabla 7). Los tres niveles de impacto indican el efecto estimado de los cambios, sobre las horas de la mano de obra que están siendo analizadas, es decir, especifica horas dentro del total de horas gastadas, o sobre el total de horas gastadas en el proyecto, dependiendo del enfoque que se esté usando. También los tres niveles de intensidad permiten asignar más específicamente un impacto estimado para cada factor MCAA que se esté usando, al igual que las propias categorías deben aplicarse con cuidado y, si es posible, con la contribución de aquellos que fueron testigos de las condiciones bajo evaluación.

No se puede proporcionar las condiciones bajo la cuales los contratistas elegirán uno o más factores MCAA particulares, o el nivel de intensidad del impacto correspondiente; es evidente que se debe tener cuidado para eliminar la superposición de los factores, en la mayor medida posible. La elección desenfundada y poco meditada de múltiples factores puede conducir a resultados poco confiables.

Es importante entender que los factores MCAA entregan una base referencial para desarrollar una estimación de pérdida de productividad de la mano de obra y no el desarrollo de un método exacto. Además cuando los factores MCAA y sus respectivos porcentajes de impacto son escogidos, debe ser con la intención de conectar la causa o causas de la ineficiencia con los efectos de manera razonable. La descripción de los factores MCAA representan la “causa” y la intensidad del impacto representa el “efecto” que puede resultar de las condiciones descritas para cada factor. Sin embargo, se debe tener cuidado al considerar una posible duplicación y superposición cuando los factores son elegidos.

Asimismo, la asignación del porcentaje de intensidad del impacto debe ser escogida con cuidado. Por ejemplo, si el cambio es de naturaleza limitada, sobre un proyecto con una cuadrilla de tamaño pequeño, sin impacto en la planificación o con impacto mínimo, entonces se debe escoger la categoría de impacto “menor”. Sin embargo, si el cambio es significativo en su alcance y requiere mayor aplazamiento o replanificación, aumenta el tamaño de la cuadrilla, existen horas extras, cambian áreas de trabajo y la interrupción general del ritmo de las cuadrillas, entonces el porcentaje de intensidad del cambio a considerar podría ser “promedio” o “severo”.

El manual no indica la forma en que se deben aplicar los factores. Es decir, no se detalla si los factores son aplicados a todo el proyecto, una parte del proyecto, sólo al trabajo con cambios o sólo a áreas específicas. Al respecto, a continuación se detallan dos ejemplos (Forma a) y b)) que relatan distintas formas de aplicación<sup>6</sup>. (MCAA, 2011)

Forma a) El valor del porcentaje escogido para cada factor es incorporado en el precio de la orden de cambio. Una vez que todos los factores han sido evaluados cuidadosamente para cada condición cambiada, se suman todos los porcentajes escogidos. El porcentaje total es entonces multiplicado por las horas de mano de obra directa del cambio. Por ejemplo:

---

<sup>6</sup> MCAA Bulletin Labor Inefficiencies (2011)

Horas de mano obra estimadas para una orden de cambio	2.750
<b>Factores MCAA</b>	
Ineficiencia por tamaño de cuadrilla	10%
Curva de aprendizaje	5%
Reasignación de personal	5%
<hr/>	
<b>TOTAL</b>	<b>20%</b>
Pérdida de productividad estimada (2.750 x 20%)	550
Subtotal, horas de mano de obra directa	3.300

Se observa del ejemplo anterior que los factores escogidos según las condiciones del cambio son: Ineficiencia por tamaño de cuadrilla, Curva de aprendizaje y Reasignación de recursos humanos; y que para cada factor el porcentaje de intensidad de impacto asociado a la pérdida de productividad, fue la categoría “menor”. Además se tiene que para determinar la pérdida de productividad, el total de horas de mano de obra directa asociadas al cambio (2.750) es ponderada por el porcentaje de impacto total (20%) asociado a los factores MCAA. Luego, en términos de horas de mano de obra, la pérdida de productividad asociada al cambio es:  $2.750 \times 20\% = 550$ .

Forma b) Según Schwartzkopf (2004), las cortes y Consejos de Apelaciones Contractuales reconocen los factores MCAA como una base adecuada sobre la cual calcular la pérdida de productividad. Por ejemplo, en la Apelación de Sistema de Seguridad contra Incendios, Inc, un contratista presentó un reclamo por la cantidad de \$109.262 por concepto de pérdida de eficiencia asociada a la presencia de asbesto en el lugar de trabajo. Esta cifra fue calculada con un factor de pérdida de productividad del 30%, el cual fue obtenido por el contratista experto a partir de los factores MCAA de productividad. Los expertos indicaron que se concentraron en 3 de los 16 factores citados en el Manual MCAA para calcular el impacto debido a la presencia de asbesto sobre la eficiencia de los trabajadores del contratista (en este caso se refiere a los instaladores, reparadores, mantenedores y fabricantes de sistemas de tuberías), ellos son: Factor #2 Moral y actitud (30% de pérdida), Factor #3 Reasignación de recursos humanos (15% de pérdida), y Factor #6 Dilución de supervisión (25% de pérdida). Los

expertos entonces aplicaron el más alto de los tres valores de pérdida (30%) al costo total de la mano de obra afectada por la mano de obra. El costo total de la mano de obra, \$473.470, fue dividido por 1,3 y la cantidad resultante fue restada a \$473.470, con lo que se obtuvo \$109.262 que representa el costo de mano de obra extra reclamada, asociada a la presencia de asbesto. El Consejo estuvo de acuerdo en que los factores del MCAA podrían ser utilizados para determinar la pérdida de productividad, cuando en el registro de los costos no se pueden identificar y separar los costos de las ineficiencias. Sin embargo, el Consejo no estuvo de acuerdo en la cantidad del daño incurrido en este caso. El Consejo determinó que el valor del impacto de "Moral y Actitud" era "menor", lo que equivale a un porcentaje de 5%, en lugar de 30% como había asignado el contratista. El Consejo no pudo encontrar ningún otro impacto perceptible sobre los otros dos factores. Luego, aplicando el 5% al total de las horas reales de la oferta, el Consejo llegó a un total ajustado de \$17.584.

### **CAPÍTULO 3 – ANALISIS DE LOS MÉTODOS IDENTIFICADOS**

Los métodos presentados anteriormente se pueden clasificar según el resultado que entregan:

- Pérdida de productividad total de la obra que se genera por situaciones de responsabilidad de ambas partes, mandante, contratista o por factores externos (incluye la improductividad por los cambios de proyectos)
- Pérdida de productividad debida solo a los cambios de proyectos.

**A. Pérdida de productividad total de la obra.** En esta clasificación tenemos los siguientes métodos:

- Costo total
  - Milla medida
  - Método de agrupación estadística
  - Valor Ganado
- **El método del Costo Total** determina la improductividad como la diferencia entre la mano de obra gastada con la mano de obra considerada en el presupuesto y se puede utilizar para una partida específica o para toda la obra.

La información que necesita este método es la mano de obra presupuestada que obtiene de los análisis de precios unitarios del presupuesto y la mano de obra efectivamente gastada que se obtiene de los registros de la obra, tales como el libro de asistencia o libro de remuneraciones

La desventaja de este método es que su resultado incluye todas las causas posibles de improductividad, como por ejemplo, por parte del contratista, los errores

de presupuesto (tales como rendimientos sobre o subvalorados y errores de cuantificación de obra) y la gestión deficiente de los recursos como la mano de obra. Por parte del mandante, cambios de proyecto y mala gestión por parte del mandante, entre otros muchos factores.

- **El método del Valor Ganado** compara los costos o la cantidad de mano de obra presupuestada con los reales de una obra o de una partida específica, su resultado es similar al obtenido con el método del costo total y también requiere de la misma información para su empleo.
- **Los métodos de Milla Medida y de Agrupación Estadística** se utilizan para determinar la improductividad de una partida específica, no de toda la obra, y para su uso se requiere de los registros periódicos (idealmente diarios o semanales) de mano de obra directa utilizada y sus rendimientos durante todo el desarrollo de la partida.

Una ventaja importante respecto del método del Costo Total y de Valor Ganado consiste en que los métodos de Milla Medida y de Agrupación Estadística utilizan sólo datos reales obtenidos de terreno, esta característica elimina del análisis la distorsión que significa la comparación de rendimientos reales con los rendimientos considerados en el presupuesto ya que el presupuesto puede tener errores tales como rendimientos sobre o subvalorados, errores de cuantificación de obra y presupuestos incompletos, que no incluyen la totalidad de las partidas del proyecto.

En el caso de un contrato a suma alzada un error en la cuantificación de una partida o la omisión de la misma en el presupuesto, tendrá como resultado el uso de una mayor cantidad de recursos en la obra que los estimados en el presupuesto.

Si se compara los métodos de Agrupación Estadística con Milla Medida, se observa que el método Estadístico incluye todos los datos de productividad obtenidos durante el desarrollo de la partida, en cambio la Milla Medida deja fuera del análisis el periodo inicial de puesta en marcha de la partida en el cual se produce la curva



de aprendizaje<sup>7</sup> de la cuadrilla que ejecuta la actividad, debido a que este periodo forma parte del proceso constructivo del contratista y por lo tanto no se debe considerar como improductividad.

Los cuatro métodos descritos anteriormente no discriminan el origen de las causas de la improductividad. Por lo tanto, la pérdida de productividad obtenida como resultado de los análisis no puede ser atribuido íntegramente a causa del mandante o más específicamente a cambios de proyecto. Por este motivo, resulta de gran importancia la realización de un análisis de causa y efecto para poder determinar los acontecimientos imprevistos, que no son de responsabilidad del contratista, ocurridos en los periodos en donde la productividad fue afectada tales como los cambios en el proyecto.

Lo anterior cobra gran relevancia si se necesita este resultado para ser presentado por el contratista al mandante para su reclamación de pago.

**B. Pérdida de productividad debido a situaciones de responsabilidad del mandante.** En esta clasificación tenemos los siguientes métodos:

- Los Factores de Improductividad de la MCAA
  - Costo total modificado
  - Leonard
  - Ibbs
- **De los 16 factores de la MCAA** que afectan la productividad de la mano de obra, todos con excepción del N° 16 Cambio del tiempo (clima), pueden ser definidos como consecuencias de situaciones causadas por el mandante y específicamente a cambios de proyecto, tal como se analizó en forma detallada en el capítulo de definición de conceptos.

A modo de recordatorio se presentan los 16 factores y sus porcentajes de impacto:

---

<sup>7</sup> El concepto "curva de aprendizaje" se define en el punto 2.1.4 Pérdida de Productividad laboral en obras de construcción.

Factor del MCAA	Menor	Promedio	Severo
1. Aglomeración de trabajo	10%	20%	30%
2. Moral y actitud	5%	15%	30%
3. Reasignación de recursos humanos	5%	10%	15%
4. Ineficiencia por tamaño de cuadrilla	10%	20%	30%
5. Operaciones simultaneas	5%	15%	25%
6. Dilución de supervisión	10%	15%	25%
7. Curva de aprendizaje	5%	15%	30%
8. Errores y omisiones	1%	3%	6%
9. Facilidades en terreno	15%	25%	40%
10. Ocupación común	5%	12%	20%
11. Acceso al sitio	5%	12%	30%
12. Logística	10%	25%	50%
13. Fatiga	8%	10%	12%
14. Efecto onda o domino	10%	15%	20%
15. Horas extras	10%	15%	20%
16. Cambio del tiempo (clima)	10%	20%	30%

Este método no requiere de registros del seguimiento continuo de la productividad de la obra, ya que los factores actúan directamente sobre la cantidad de mano de obra presupuestada para cada Nota de Cambio.

La principal desventaja de este método es la naturaleza arbitraria y subjetiva de estos factores que debilita su credibilidad. De hecho, incluso el MCAA señala que los factores deben aplicarse con cuidado ya que la adición de múltiples factores puede conducir a resultados poco fiables.

- **El método de costo total modificado** puede ser una buena herramienta si se utiliza adecuadamente, más aun si se utiliza como una manera de validar el resultado obtenido por otros métodos como el Milla Medida, por ejemplo.
- **El método de Leonard** es un método teórico que determina la pérdida de productividad de mano de obra debido a los aumentos de obra, obras extraordinarias y disminuciones de obra ejecutadas por el contratista.

La crítica más común, obtenida en la literatura consultada, reside en el hecho de que la investigación se ha desarrollado utilizando casos que habían llegado a la etapa de litigio, lo que puede introducir un sesgo hacia proyectos que sufren importantes pérdidas de productividad. Además, se considera que el tamaño y

número de los proyectos estudiados eran demasiado pequeños e insuficientes para extrapolar a la industria en su conjunto.

Otras limitaciones y críticas al estudio incluyen el hecho de que el estudio no puede ser utilizado para predecir la pérdida de productividad cuando las horas de órdenes de cambio son menos del 10% de las horas del contrato original; que el estudio no aborda la cuestión del momento en el que se producen los cambios (temporalidad); y que otros factores, como el clima, las condiciones laborales y la normativa de construcción, son particulares de la industria canadiense y no necesariamente representativos de la industria de Estados Unidos. (Revay report, 2007)

- **El método de lbbs** actualiza el método de Leonard, aumentando en gran medida el número de casos analizados, además introduce el concepto de temporalidad de los cambios, lo que significa que mientras más avanzada esté la obra al momento de introducir los cambios, mayor será el efecto sobre la productividad de la mano de obra.

Otra diferencia relevante, con respecto a Leonard es la determinación del porcentaje de cambios.

Para Leonard el porcentaje de cambios es:

$$\% \text{ Ordenes de Cambio} = \frac{\text{Horas Hombre de Ordenes de Cambio}}{\text{Horas Hombre de Contrato Base}}$$

Las horas del contrato base (contractuales reales) se calculan restando Horas Hombre orden de cambio y cualquier Hora Hombre improductivas atribuibles a ineficiencias contratista, tales como deficiencias de reparación y la interrupción del trabajo, y las inclemencias del tiempo.

En cambio para lbbs el porcentaje de cambios es:

$$\% \text{ cambios} = \frac{\text{Horas Hombre de Ordenes de Cambio}}{\text{Horas Hombre reales del contrato}}$$

En este caso las Horas Hombre (HH) reales del contrato incluyen las HH de las Ordenes de Cambio, Leonard no las incluye, considera solo las HH del contrato original sin las modificaciones.

La principal desventaja que tienen los métodos de Ibbs y Leonard es que, ambos métodos son modelos teóricos que están basados en las condiciones particulares de la industria de la construcción norteamérica, y no existe experiencia práctica que valide los resultados de estos métodos en Chile.

Otra dificultad que presentan ambos métodos es la disponibilidad de la información respecto de la cantidad de mano de obra real utilizada en la obra. Por lo tanto, en caso de no disponer de alguno de los datos necesarios, cabe la posibilidad de estimarlos indirectamente asumiendo ciertos criterios, lo que podría afectar la validez de los resultados.

Dado lo anterior, se puede concluir que el uso de estos métodos actualmente, en Chile, no entrega como resultado una cifra exacta, sino más bien, proporciona una estimación o una aproximación de la cantidad real de mano de obra perdida producto de los cambios de proyecto en una obra.

Como resumen del análisis y comparación de todos los métodos presentados en este estudio se puede decir lo siguiente:

La disponibilidad de la información de las situaciones ocurridas en la obra que afectan el normal desarrollo de la construcción, y el seguimiento y registro constante de la productividad de todas las partidas de la obra o de aquellas que se requiera estudiar son las condiciones más importantes para poder utilizar apropiadamente los métodos presentados

Para determinar la pérdida de improductividad se recomienda aplicar por lo menos 2 métodos, esto ayudará a dar mayor validez a los resultados obtenidos.

Dentro de los métodos presentados, el más reconocido en la literatura revisada es el método de Milla Medida, debido a que no considera los valores presupuestados, sino que, utiliza información real de la obra. Además incorpora el concepto del periodo o curva de aprendizaje, el cual no se puede considerar como una improductividad reclamable ya que es parte del proceso constructivo de cada partida.

La Milla Medida, al igual que la Agrupación Estadística y Análisis del Valor Ganado se puede utilizar para determinar la improductividad de responsabilidad del mandante realizando una identificación de las situaciones ocurridas en la obra que causaron la pérdida de productividad, es decir una relación de causa-efecto.

El método menos reconocido es el Costo Total debido a que compara los costos reales con los costos de presupuesto, el cual puede tener errores. Además puede resultar muy complicado justificar o validar que los costos reales no tienen relación con ineficiencias propias del contratista, lo que genera desconfianza en el resultado obtenido.

Respecto de los métodos teóricos Ibbs y Leonard, son los únicos dos métodos que determinan en forma directa la pérdida de productividad debido a los cambios de proyectos pero, durante la realización de este estudio no fue posible encontrar casos reales en donde se hayan utilizado estos métodos y comprobado sus resultados.

Sin perjuicio de lo anterior, de los dos métodos teóricos Ibbs y Leonard, se considera que el método de Ibbs entrega una mejor aproximación de la improductividad real, debido a la mayor cantidad y variedad de casos analizados para la construcción del modelo matemático y porque introduce el concepto de temporalidad de los cambios.

El método de costo total modificado puede ser una buena herramienta si se utiliza adecuadamente, especialmente si se usa para validar el resultado obtenido por otros métodos como el Milla Medida o el método de Ibbs, por ejemplo.

## **CAPÍTULO 4 – ESTUDIO DE CASOS APLICANDO LOS MÉTODOS ESTUDIADOS**

### **4.1. DEFINICIÓN DEL CASO**

El proyecto consiste en la construcción de un centro comercial, realizado entre los años 2010 y 2011. El monto neto del contrato corresponde a UF 668.000.

El monto total de obras adicionales y extraordinarias aprobados por el mandante y ejecutados por la constructora fue de UF 70.222, lo que corresponde a un 10,5% del monto original del contrato.

Los antecedentes asociados a la aplicación de los métodos de determinación de improductividad laboral obtenidos de la información disponible, son los siguientes:

1. Contrato de construcción.
2. Presupuesto y análisis de precios unitarios de contrato.
3. Notas de Cambio de cada una de las obras adicionales extraordinarias aprobados por el mandante y ejecutados por la constructora.
4. Registro de remuneraciones del personal de obra contratado en forma directa por la constructora.
5. Listado de subcontratistas contratados por la constructora.
6. Programación inicial, aprobada por la Inspección Técnica de Obra para la construcción.

Debido a que, no se contó con registros periódicos de productividades obtenidos de terreno para las diferentes partidas o para las partidas más relevantes de la obra, los métodos Línea Base, Milla medida y Valor Ganado, no se pueden utilizar.

En cambio, los métodos de Ibbs, Leonard y de Costo Total si se pueden utilizar debido a que estos métodos requieren de información de mano de obra presupuestada y utilizada en la obra, la cual si se dispone.

Dado lo anterior, los métodos elegidos para este caso son Ibbs, Leonard y Costo total.

#### **4.1.1. Utilización del método de Ibbs.**

La utilización de este método, da como resultado la improductividad de mano de obra debido a los cambios del proyecto original.

Según lo expuesto en los capítulos anteriores, el procedimiento para la utilización del método de Ibbs es el siguiente:

1. Porcentaje de cambios:

$$\% \text{ cambios} = \frac{HH \text{ directas asociadas a adicionales del contrato}}{HH \text{ directas reales del contrato}}$$

#### **Cálculo de las Horas Hombre (HH) totales empleadas en la obra.**

La mano de obra total utilizada corresponde a personal contratado directamente por la Constructora más el personal de las empresas subcontratadas por la Constructora.

- Horas Hombre (HH) contratadas directamente por la Constructora:

Con las planillas de sueldo mensuales, se obtiene el personal contratado con su respectivo detalle de remuneraciones: nombre de la persona, horas trabajadas normales, horas extras y su cargo, con lo cual se identifica el personal directo, sin considerar profesionales de obra, supervisores de terreno, trazadores, guardias, entre otros, ya que forman parte de los Gastos Generales de la obra.

Del análisis de la información anterior se obtiene un total de 534.931 Horas Hombre, contratadas directamente por la Constructora.

- Horas Hombre (HH) subcontractadas:

Debido a que no se contó con información directa de la cantidad de Horas Hombre utilizadas de las empresas subcontractadas por la Constructora, se procedió a estimarla teniendo presente las siguientes consideraciones:

- El monto de mano de obra de la facturación de subcontrato se estimó aplicando un porcentaje de incidencia de la mano de obra sobre el costo neto de la facturación.  
Para la asignación del porcentaje de incidencia de mano de obra se consideró dos criterios presentados por la constructora:

1. Subcontratos que solo sean proveedores de mano de obra: se asignó como mano de obra un 70% del monto de la facturación (ejemplo subcontrato de mano de obra de instalación de moldajes).
2. Subcontratos que incluyan materiales, equipos y su instalación en obra: se asignó un 30% del monto de la facturación (ejemplo instalación sanitaria).

- Con el detalle de facturación de los subcontratos de la obra se identifican las facturas que tienen mano de obra relacionada al costo directo de la obra; descartándose del análisis los proveedores de materiales y equipos, arriendos, subcontratos de costo indirecto como empresa de guardias de seguridad, transportes o fletes, instalación de andamios, entre otros.

Con las consideraciones descritas anteriormente la estimación de la mano de obra de subcontratos se presenta en la siguiente tabla:



**Tabla 1:** Asignación de costo de mano de obra para cada facturación de Subcontrato

<b>Totales</b>	<b>Descripción subc.</b>	<b>% M.O.</b>	<b>\$ M.O.</b>
4.252.453	Subc. Mano de obra - colocación hormigón y pavimentos	70%	2.976.717
4.692.513	Subc. Mano de obras varias	70%	3.284.759
2.394.000	Subc. Colocación de hormigón	30%	718.200
1.280.742	Subc. Suministro e Inst. Baldosa	30%	384.223
190.000	Subc. Varios (buscar)	30%	57.000
24.337.874	Subc. Montaje estructuras	30%	7.301.362
46.103.926	Subc. Equipamiento estanques de agua	30%	13.831.178
3.001.294	Subc. Terminaciones	30%	900.388
170.000	Subc. Aluminios	30%	51.000
49.300.150	Subc. Ascensores	30%	14.790.045
46.695.870	Subc instalación cubrejuntas	30%	14.008.761
9.234.412	Subc instalación div. Baños	30%	2.770.324
78.162.505	Subc. pintura	30%	23.448.752
18.536.500	Subc. Aseo general	30%	5.560.950
13.812.558	Subc. Bombeo hormigones	30%	4.143.767
421.750.513	Subc. Carpintería metálica	30%	126.525.154
7.511.363	Subc. Carpintería metálica y varios	30%	2.253.409
485.233.935	Subc. Climatización	30%	145.570.180
24.286.600	Subc. Cubiertas	30%	7.285.980
1.872.268	Subc. Cubiertas marmolina	30%	561.680
69.845.689	Subc. Impermeabilización	30%	20.953.707
25.365.000	Subc. Inst. de fierro y varios	30%	7.609.500
882.869.365	Subc. Inst. eléctrica	30%	264.860.810
211.663.447	Subc. Instalación sanitaria	30%	63.499.034
427.486.984	Subc. Mano de obra	70%	299.240.889
243.781.284	Subc. Mano de obra - moldaje y varios.	70%	170.646.899
643.982.696	Subc. Mano de obra - enfierraduras y varios	70%	450.787.887
772.700.537	Subc. Mano de obra - enfierraduras, moldaje y varios.	70%	540.890.376
59.832.020	Subc. Mano de obra - pavimentos	70%	41.882.414
69.498.916	Subc. Mano de obra - tabiques y cielos volcánita	70%	48.649.242
84.957.141	Subc. Mano de obra - varios	70%	59.469.998
25.733.463	Subc. Mano de obra - yesos y estucos	70%	18.013.424
21.144.316	Subc. Mano de obra -Excavación manual	70%	14.801.021
53.353.751	Subc. Mano de obra -Inst, demoliciones, varios	70%	37.347.626
70.430.278	Subc. Mano de obra -Montaje estructuras	70%	49.301.195
16.681.481	Subc. Mano de obra- Terminaciones	70%	11.677.037
48.572.948	Subc. Mano de obra- yesos- estucos - revestimientos	70%	34.001.064
32.170.631	Subc. Mano de obra- yesos y estucos	70%	22.519.441
44.446.863	Subc. Manta Sum e Inst. Bentonítica	30%	13.334.059
179.718.032	Subc. Pilotes	30%	53.915.409
165.423.954	Subc. Pintura	30%	49.627.186
203.509.335	Subc. Postensado	30%	61.052.801
162.218.247	Subc. Refuerzo fibra carbono	30%	48.665.474
119.359.989	Subc. Seguridad y extención	30%	35.807.997
262.999.999	Subc. Sum y Montaje estructuras	30%	78.900.000
213.601.902	Subc. Sum. E Inst. de revestimientos	30%	64.080.570
296.361.140	Subc. Sum. e Inst. Revest. HD	30%	88.908.342
191.332.094	Subc. Suministro e intalación de Muro Cort.	30%	57.399.628
27.955.183	Subcontrato carpinterías metálicas	30%	8.386.555
19.255.813	Subcontrato de aluminios	30%	5.776.744
90.465.220	Subcontrato Mano de obras varias	70%	63.325.654
35.646.884	subcontrato pintura	70%	24.952.819
34.955.446	Suministro e instalación de puertas	30%	10.486.634
	<b>TOTAL (\$)</b>		<b>3.197.195.263</b>

De la tabla anterior se tiene que el monto estimado de mano de obra de subcontratos es de \$ 3.197.195.263

- Para transformar el monto señalado anteriormente en HH se consideró el costo promedio de la mano de obra para las distintas especialidades de subcontrato presentes en el proyecto durante el periodo de 2010 a 2012, el cual se estimó en \$3.510 por Hora Hombre (HH), según información recopilada por la constructora de sus subcontratos.

Por lo tanto la cantidad de Horas Hombre de subcontratos está dado por:

$$Total\ HH\ subcontratos = \frac{\$ 3.197.195.263}{3.510\ \$/HH}$$

De lo anterior se obtiene un total de 910.882 HH de subcontratos

La cantidad total de mano de obra total utilizada correspondiente a personal contratado directamente por la Constructora y a empresas subcontratadas por la Constructora se resume en la siguiente tabla:

**Tabla 2:** HH estimadas de mano de obra directa

<b>Cantidad de mano de obra directa</b>	<b>HH</b>
Total HH Constructora	534.931
Total HH Subcontratos	910.882
<b>Total HH de la obra</b>	<b>1.445.813</b>

De la tabla anterior, se tiene que en la ejecución de la obra se empleó un total de 1.445.813 HH.

### **Cálculo de las Horas Hombre (HH) de las modificaciones de la obra.**

Se tienen 161 notas de cambio con presupuestos que contienen mano de obra directa correspondiente a obras adicionales, extraordinarias y disminuciones de obra, presentadas por la constructora y aprobadas por la ITO.

**Tabla 3:** monto de las notas de cambio aprobadas por el mandante

N° O.E.	CONCEPTO	MONTO APROBADO POR EL MANDANTE (UF)
2 - 11	Demoliciones dados de hormigón bajo cota 0.0 y retiro a botadero. Según aclaración N° 61 (Protocolos 1 al 11)	84,82
13	Agregar acera mecánica desde n +9.50 al n +14	2.079,72
15	7 variadores de frecuencia 4 escaleras y 3 rampas	878,76
16	Incorporación de estacionamientos en nivel -6.80 sector 7-10/ k-p	6.513,42
17	1. Aumento en la altura del muro berlinés, debido a aumento en profundidad de estanque de A.P., (se unieron los edificios a y b en uno) 2. Ajuste para hincar los perfiles en terreno (figuraban sobre terrenos de vecino)	2.323,86
18 - 23	Demoliciones dados de hormigón bajo cota 0.0 y retiro a botadero. Según aclaración N° 61 (Protocolos 12 al 17)	71,20
27	Modificación muro berlinés por presencia de roca en terreno	939,10
28	Retiro de pilares prearmados del sector 7-10 / k-p para poder realizar el movimiento de tierra del adicional n° 9	256,84
33	Recubrimiento de cables toma de tierra con conduit sch-40 desde el emplantillado hasta cota napa freática	16,49
30	Malla de tierra para computación de supermercado solicitada por el mandante. Se descuenta malla de tierra original del contrato	136,60
32	Perfil n° 98 tiene un largo menor al necesario para fundar el pilar del eje h/12.	64,47
65	Modificación capitel eje c por modificación del ancho basal de 2 a 4 m y altura de 1,32 a 1,5 m, variando a su vez la enfierradura y cantidad de hormigón.	252,21
68	Colocación de conectores Cadweld para empalmar enfierradura de los pilares obstaculizados por las vigas longerinas	967,41
71	Refuerzo en eje C1 entre 9-10, tiene un largo 170 cm con lo cual no cubre la viga B 103a. Se considera reemplazar este refuerzo según RDI N° 109.	14,43
73	Colocación de escuadras de soporte en los ejes a entre 1-7a y eje 1 entre a-n, debido a que las vigas longerinas impiden la ejecución de los pilares y muros perimetrales que se ubican sobre el -3.50, debiendo destensar y retirar las vigas, y las escuadras traspasan la carga a los muros perimetrales y estos a la losa de fundación.	353,26
66	Refuerzo de enfierradura en losa de fundación solicitada por calculo, en nota de libro de obra n° 4 folio 28	188,18
74	Refuerzos sísmicos de enfierraduras.	1.768,24
67	Según EETT de obra gruesa se considera matacanto de 20 mm de lado en todos los pilares y vigas con altura libre menor de 5 m. En detalle de arquitectura considera matacanto de 25 mm.	64,33
69	Modificación muro berlinés por presencia de roca en terreno. Aumento de obra adicional n° 10, en cantidad de pernos de anclaje para pilares	235,15
29	Aumento en dimensión de estanque debido a la fusión de los 2 edificios originales a y b en uno solo	3.457,00
75	Se agrega 1 cortina de rollo galvanizada según rdi n° 146	55,65
77	Cambio en baño personal nivel + 14.00 según ficha de modificación enviada por arquitectura	70,94
81	Incorporación de estacionamientos en nivel -6.80 sector 7-10/ k-p (presentación 2)	1.725,38
82	Agotamiento ejes S' / 7-11	75,00
84	Refuerzos para los cajones en muros de rampa para posterior instalación de focos embutidos con y sin kit de emergencia	665,87
92	Mejoramiento de suelo con hormigón pobre para fundación de pilares perimetrales	257,70
91	Modificación de enfierradura losa cielo cámara sentina entre plano recepcionado el 22 de sept. 2010 y plano recepcionado el 17 de noviembre 2010	709,39
90	Modificaciones enfierraduras en vigas y losa nivel - 3,50	691,90
89	Enfierradura en fosos ascensores y rampas mecánicas	121,21
87	Diferencia en planos de propuesta y planos de construcción, modifica cantidades de canalizaciones, alimentaciones, circuitos y equipos de iluminación para el mall.	398,00
88	Diferencia en planos de propuesta y planos de construcción, modifica cantidades de enfierradura, hormigón y moldaje en muros y pilares desde -6.80 hasta coronación.	800,67
96	Diferencia en planos de propuesta y planos de construcción, modifica cantidades de enfierradura, hormigón y moldaje en losas y vigas +0,00	20,77
99	Diferencia en planos de propuesta y planos de construcción, modifica cantidades de hormigón, moldaje y enfierradura en vigas y losas nivel +3,80	121,03
100	Diferencia en planos de propuesta y planos de construcción, modifica cantidades de hormigón, moldaje y enfierradura en vigas y losas nivel +6,1	-26,29
101	Diferencia en planos de propuesta y planos de construcción, modifica cantidades de hormigón,	174,53

N° O.E.	CONCEPTO	MONTO APROBADO POR EL MANDANTE (UF)
	moldaje y enfierradura en vigas y losas nivel +9,50	
102	Diferencia en planos de propuesta y planos de construcción, modifica cantidades de hormigón, moldaje y enfierradura en vigas y losas nivel +14,00 +15,00	63,26
103	Diferencia en planos de propuesta y planos de construcción, modifica cantidades de hormigón, moldaje y enfierradura en vigas y losas nivel +17,30 +18,30	24,03
93	Diferencia en planos de propuesta y planos de construcción, modifica cantidades de hormigón y moldaje en vigas y losas nivel +3,80	757,13
104	Diferencia en planos de propuesta y planos de construcción, modifica cantidades de revestimiento Screenpanel Hunter Douglas en fachadas	2.873,86
106	Cambio de pasadas en vigas, muros y losas en nivel +3,80 para instalación de especialidades.	1.314,49
108	Modificaciones en pilares diagonales ubicados en eje c/ modulo a.	88,78
114	Diferencia en enfierradura planos de propuesta y planos de construcción.	340,51
83	Ejecución de cámara de aguas lluvias entre ejes 3-4 / h-j	1.710,70
111	Diferencias en fierro, hormigón y moldaje por generación de pasadas para instalación de especialidades en vigas, muros y losas	800,77
109	Enfierradura pilar 9b	4,45
112	Relleno hormigón pobre sector rampa ejes 10-10b / q2-s'	559,32
116	Incorporación detalle de enfierradura para la fundación del eje 12 entre b2-h	78,20
78	Cambios en revestimiento de pisos nivel +3,80, proyecto construcción con respecto a propuesta	-65,96
118	Mitigación vial	-623,74
119	En proyecto eléctrico, se agregó al centro de distribución de media tensión, dos nuevas unidades de celdas.	293,98
113	Se agrega detalle foso ascensor supermercado nivel +3,80, no considerado en plano 1003 de contrato	23,29
120	Diferencia entre planos de propuesta y contrato en rampa acceso sector o'-s'/11a-12	387,77
123	Relleno hormigón pobre bajo fundación eje 12/f-b2, ya que terreno natural está por debajo de lo requerido.	370,55
122	Alimentador exclusivo para tablero de fuerza y control de bomba jockey, y alimentador para tablero de fuerza y control de bomba de incendio.	30,49
130	Enfierradura pilares diagonales eje p/modulo a, modificación para disminuir la densificación de enfierradura en nudos, facilitando su constructibilidad	84,47
126	Canalización, cables y tableros requerimientos proyecto climatización.	2.153,96
128	Pintura en estacionamientos, ítem no considerado en contrato	175,94
129	Cambio en insertos cercha patio de comidas con el objetivo de mejorar la ubicación del inserto en el pilar de hormigón correspondiente	40,93
132	Proyectista debido a requerimiento Esva debe cambiar tipo de bombas de las peas que estaban consideradas en proyecto original.	249,19
131	Cobro sanitario debido a modificación por desplazamiento cámara disp. N°3, diferencia entre proyecto versión v1 y vr2(actual)	383,89
133	Cobro por puertas recinto técnico nivel -6,80, las cuales no estaban especificadas en planos de contrato.	18,55
136	Impacto en hormigonado en losa b1 debido a modificación en viga eje 8-9/b	962,05
137	MAYORES COSTOS EN LOSA A8 DEBIDO A MODIFICACIÓN VIGA A-223a-b, eje P/2A-5	435,29
139	Impacto por modificación de cálculo en andén sector b	408,90
138	IMPACTO EN LIBERACIÓN SECTOR VOLADIZO NIVEL +9,50 (MOLDAJE + MANO DE OBRA) POR INTERFERENCIA CON TRABAJOS EISTU, total 45 mts	361,14
125	Desarme tubería pvc y ppa nivel -6.80 eje 1/a-f y a/1-2	47,20
143	Modificación anclajes perfiles metálicos MV4, nivel 0,00 a +8,6 (bajo viga)	205,17
144	SopORTE mampara mv9 - mv10 (eje 2-5/b) nivel 0,00	84,87
148	Rejillas aguas lluvias nivel -6.80	2.095,55
150	Pasada para extracción forzada estanque sanitario	30,00
135	Canaleta aguas lluvias andén	273,31
153	Enfierradura rampa peatonal no aparece en planos de propuesta de cálculo, si en planos de arquitectura.	27,87
156	Modificación en las dimensiones de vigas y adición de nuevas en nivel +15,00 entre los ejes 3-4/b-e, debido a requerimientos de proyectista.	48,88
146	Detalle faltante zócalo mampara vidriada nivel +0,00 al +18,00	1.016,47
134	Mayores costos en obras de pilares perimetrales por excavación en roca con sobreexcavación y rellenos	43,254

Nº O.E.	CONCEPTO	MONTO APROBADO POR EL MANDANTE (UF)
160	Enfierradura eje b2 /11'-12 RDI 312 nivel fundación	5,65
157	Disminución cámara media tensión	-258,62
165	Ductos inyección aire exterior por interferencia con altura de cielos	144,42
169	Cámaras Corrientes Débiles en veredas son parte de proyecto EISTU.	-261,00
158	Estanques sanitarios y de aguas lluvias	1.621,07
171	Interferencia en pila n° 39 de pilares perimetrales	20,00
168	Puertas estanque de agua potable	51,01
173	Alimentadores, cables y canalización para tableros - proyecto climatización	1.079,22
177	Modificación sala electrica nivel +18,30	2.150,00
178	Escotillas acceso y ventilación estanque agua potable	16,50
182	Puertas metálicas acceso recinto técnico (RDI 333)	50,00
197	Centrado de sprinklers en cielos modulares nivel -3,5 y nivel 0,00	51,83
183	Baldosas proyecto ambientacion	323,02
184	Estructuras metálica interior y chambrana fosa ascensor	1.011,00
202	Modificación estructura metálica vitrina locales comerciales (+3,80; +9,50)	2.012,00
200	Modificación anclajes doble altura mv4 (RDI 349)	218,17
187	Proyecto de techumbre n.+18,30	1.300,00
141	Modificación calculo eje a-e / 3-4 nivel +18,00	297,47
186	Diferencia complementaria de enfierradura, moldaje y hormigón losas y vigas nivel -3,5	19,12
190	Diferencia complementaria enfierradura, moldaje y hormigón losas y vigas nivel +6,1	28,46
191	Diferencia complementaria enfierradura, moldaje y hormigón losas y vigas nivel +9,5	46,88
192	Diferencia complementaria enfierradura, moldaje y hormigón losas y vigas nivel +14,00 +15,00	111,04
194	Diferencia complementaria de enfierradura, moldaje y hormigón muros desde nivel -6,8 al +18,30	344,08
195	Diferencia complementaria de enfierradura, moldaje y hormigón pilares desde nivel -6,8 al +18,30	-4,65
196	Cubicación enfierradura fichas de calculos distintos niveles	26,96
198	Diferencia complementaria enfierradura, moldaje y hormigón losas y vigas nivel +3,8	52,49
206	Modificación enfierradura por terminales Lenton RDI 355	16,02
193	Diferencia complementaria enfierradura, moldaje y hormigón losas y vigas nivel +17,30 / +18,30	697,14
166	Modificación material cielo en hall nivel -6,8	426,56
214	Zócalo de hormigones eje N2	24,50
216	Modificación soporte portal eje a	13,86
217	Insertos placa soportante estructura metálica escalera n° 14 (RDI 472)	6,47
218	Modificación de fachada	7.264,10
213	Estructura soportante UMAS	74,00
215	Conexión puentes peatonales	81,75
226	Estructura soporte UMAS 3.1 a 3.3	217,41
222	Terminación estriada de rampas c/ángulo metálico	-660,34
223	Sobrelosa en altillo para nivelar losa Supermercado.	-195,00
224	Modificación de red de sprinklers por mala ejecución de pasadas nivel +3.80	-246,00
225	Pintura de Losa Supermercado (Nivel +3.80)	-638,00
227	Detalle antepecho +9,50 modulo a	124,00
229	Modificación malla Acma sobrelosa	1.584,54
205	Diferencias recorrido agua potable nivel -6,8	35,57
231	Contrahuellas escaleras metálicas	173,64
233	Disminución baldosas veredas exteriores	490,00
86	Modificación baño familiar y discapacitado nivel + 9,50	15,91
232	Canalización media tensión	965,05
235	Disminución muro medianero eje 12	53,00
201	Modificación tabique, cielo, zócalo hall eje 7-9 nivel -6,8 (ficha 15)	69,68
238	Modificación wc baños públicos +9,5	55,22
240	Construcción de cámara en colector	47,85
234	Demolición y sobreexcavacion pilas perimetrales ejes b2 - pilas 1-2-7y 8	-1.877,62
242	Reparación de vigas y elementos de puentes peatonales y vehiculares	80,00

N° O.E.	CONCEPTO	MONTO APROBADO POR EL MANDANTE (UF)
174	Modificación tapas estanques alcantarillado	293,00
246	Modificación fierro pilar 3G	0,47
251	Provisión e instalación tableros de transferencia automática	265,73
236	Modificación evacuación de aguas lluvias nivel + 9,5	-1.986,99
247	Malla Acma adicional nivel +9,5	71,00
239	Cambio de alimentación baños administración nivel + 15,00-RDI 514	500,00
241	Modificación puentes peatonales (insertos)	38,73
245	Requerimientos CONAFE para sala eléctrica nivel + 18,30	83,72
255	Estructura metálica cielo n + 9,5 ejes 2-3// k-l	134,39
253	Complementos a requerimientos sala CONAFE nivel + 18,30	112,41
258	Nuevo cielo galería nivel + 3,8	42,00
259	Antepecho escalera mecánica nivel +14,00 ejes 7/h - k RDI 574	31,05
260	Antepecho puente vehicular y peatonales -RDI -572	5,73
261	Cielos registrables nivel + 3,8 y 9,5	1.881,07
265	Incompatibilidad entre cielos baños y proyecto ductos de climatización (cota + 15)	165,16
266	Losa flotante nivel +0,90 (obra gruesa)	28,24
263	Terminaciones sala eléctrica nivel + 18,30	95,11
270	Muestra tapas bilco nacional	17,28
271	Estructura cornisa calle	705,42
272	Estructura primaria fachada ejes 2-3/ RDI 568	74,34
276	Solución borde rampa mecánica nivel + 9,5 RDI 558	67,39
279	Cubierta adicional nivel + 9,5	200
278	Estructura fachada eje 11-12	76,44
287	Modificación banquetta reposición pendiente colector 200mm	11,9
302	Modificación proyecto agua potable nivel +3,8	103,95
303	Modificación proyecto alcantarillado nivel +9,5	95,67
305	Desplazamiento gabinete de gas para supermercado nivel 0,00	31,1
72	Modificación de fachada eje j-k	526,35
62	Relleno pozo de agua encontrado en terreno bajo nivel de fundación	140,00
176	Cambio escuadria de perfiles para muro berlinés	2.317,00
24 - 26 y 34 - 61	Demoliciones dados de hormigón bajo cota 0.0 y retiro a botadero. Según aclaración n° 61 (Protocolos 18 al 48)	55,63
221	Canaleta con rejilla tipo Ulma. Subterráneo - 6.80	-293,23
188	Diferencia en modificación enfierradura nivel - 3,50	270,50
<b>SUMA DE VALORES DE OBRAS ADICIONALES, EXTRAORDINARIAS Y DISMINUCIONES (en valor absoluto)</b>		UF 84.496,851
<b>Monto total en pesos (UF = \$ 21.941,304)</b>		<b>\$ 1.853.971.095</b>

El análisis de las HH es idéntico tanto para aumento como disminución, dado que ambos cambios generan pérdida de productividad (alteración de la secuencia constructiva). De esta forma, se considera el total de HH involucradas en los cambios, sumando las HH de las disminuciones de obra con las HH de obras adicionales y/o extraordinarias.

Considerando, como criterio dado por el contratista, que el costo de mano de obra corresponde al 30% del monto de cada presupuesto, y con el valor de \$ 3.510 la HH, se

estimó las Horas Hombre (HH) directas de los adicionales fuera del contrato, como se observa en la tabla siguiente:

Dado lo anterior, se tiene la estimación de HH para obras adicionales, disminuciones y obras extraordinarias, indicada en la tabla siguiente:

**Tabla 4:** HH estimadas de modificaciones de obra.

<b>Monto Total de Disminuciones de obra, Obras Extras y Adicionales (\$)</b>	<b>30% del costo corresponde a mano de obra</b>	<b>Costo ponderado \$/HH</b>	<b>Total HH de Modificaciones de obra</b>
A	B=A*0,3	C	D=B/C
1.853.971.095	556.191.328	3.510	158.459

De la tabla anterior, se tiene que la cantidad total de Horas Hombre (HH) asociadas a las modificaciones de obra aprobadas por el mandante corresponden a 158.459 HH.

Con la determinación de las HH totales utilizadas y las HH asociadas a las modificaciones de la obra se tiene el porcentaje de cambios:

$$\% \text{ cambios} = \frac{158.459 \text{ HH}}{1.445.813 \text{ HH}} \times 100\% = 10,96\%$$

## 2. Índice de Productividad

Para determinar el índice de productividad el método presenta 3 curvas, de las cuales se debe elegir una y su elección dependerá de la temporalidad en que se realizaron los cambios:

- Temprana: Proyectos con el 20% del avance completado, y con porcentajes de cambios reconocidos de 50%.

$$\text{Indice de Productividad (\%)} = 1,0511 \times e^{-1,0228 \times \% \text{ cambios}}$$

- Normal: Proyectos con 40% de avance y con porcentajes de cambios reconocidos de 50%.

$$\text{Indice de Productividad (\%)} = 2,0421 \times (\%cambios)^2 - 1,9234 \times \%cambios + 1,0471$$

- Tardía: Proyectos con 70% o más de avance y con porcentajes de cambios reconocidos de 50%.

$$\text{Indice de Productividad (\%)} = 0,9796 \times e^{-1,924 \times \%cambios}$$

Por lo tanto para seleccionar la curva se debe identificar:

- La fecha en que se cumplió el reconocimiento por parte del mandante del 50% de del total de las obras adicionales y modificaciones de la obra.
- El avance que tiene la obra a fecha del cumplimiento del 50% de los cambios.
- Las fechas en que se cumplieron el 20%, 40% y el 70% del avance real de la obra.

Para la determinación de la fecha en que se cumplió el reconocimiento por parte del mandante del 50% del total de las obras adicionales y extraordinarias se presenta la siguiente tabla con la descripción del cambio, su valor ordenados en forma cronológica de aprobación:

**Tabla 5:** Aprobación de los cambios en orden cronológico

Concepto	Nº O.E.	Fecha	Monto (UF)	Monto Acumulado	% Acumulado
Demoliciones dados de hormigón bajo cota 0.0 y retiro a botadero.según aclaración N° 61 (Protocolos 1 al 11)	2 - 11	04/08/10	84,82	84,82	0,10%
Agregar acera mecanica desde n +9.50 al n +14	13	16/08/10	2.079,72	2.164,54	2,56%
7 variadores de frecuencia 4 escaleras y 3 rampas	15	16/08/10	878,76	3.043,30	3,60%
Incorporacion de estacionamientos en nivel -6.80 sector 7-10/ k-p	16	16/08/10	6.513,42	9.556,72	11,31%



Concepto	Nº O.E.	Fecha	Monto (UF)	Monto Acumulado	% Acumulado
1. Aumento en la altura del muro berlinés, debido a aumento en profundidad de estanque de a.p., (se unieron los edificios a y b en uno) 2. Ajuste para hincar los perfiles en terreno (figuraban sobre terrenos de icafal)	17	16/08/10	2.323,86	11.880,58	14,06%
DEMOLICIONES DADOS DE HORMIGÓN BAJO COTA 0.0 Y RETIRO A BOTADERO.SEGÚN ACLARACIÓN N° 61 (Protocolos 12 al 17)	18 - 23	30/08/10	71,20	11.951,78	14,14%
Modificación muro berlines por presencia de roca en terreno	27	29/09/10	939,10	12.890,88	15,26%
Retiro de pilares prearmados del sector 7-10 / k-p para poder realizar el movimiento de tierra del adicional nº 9	28	29/09/10	256,84	13.147,72	15,56%
Recubrimiento de cables toma de tierra con conduit sch-40 desde el emplantado hasta cota napa freatica	33	21/10/10	16,49	13.164,21	15,58%
Malla de tierra para computación de solicitada por el mandante. Se descuenta malla de tierra original del contrato	30	09/11/10	136,60	13.300,81	15,74%
Perfil nº 98 tiene un largo menor al necesario para fundar el pilar del eje h/12.	32	09/11/10	64,47	13.365,28	15,82%
Modificación capitel eje c por modificación del ancho basal de 2 a 4 m y altura de 1,32 a 1,5 m, variando a su vez la enfierradura y cantidad de hormigón.	65	10/11/10	252,21	13.617,49	16,12%
Colocación de conectores cadweld t para empalmar enfierradura de los pilares obtaculizados por las vigas longerinas	68	17/11/10	967,41	14.584,90	17,26%
REFUERZO EN EJE C1 ENTRE 9-10, TIENE UN LARGO 170 CM CON LO CUAL NO CUBRE LA VIGA B 103a. SE CONSIDERA REEMPLAZAR ESTE REFUERZO SEGÚN RDI N° 109.	71	24/11/10	14,43	14.599,33	17,28%
Colocación de escuadras de soporte en los ejes a entre 1-7a y eje 1 entre a-n, debido a que las vigas longerinas impiden la ejecución de los pilares y muros perimetrales que se ubican sobre el -3.50, debiendo destansar y retirar las vigas, y las escuadras traspasan la carga a los muros perimetrales y estos a la losa de fundación.	73	06/12/10	353,26	14.952,59	17,70%
Refuerzo de enfierradura en losa de fundación solicitada por cálculo, en nota de libro de obra nº 4 folio 28	66	07/12/10	188,18	15.140,77	17,92%
Refuerzos sísmicos de enfierraduras	74	07/12/10	1.768,24	16.909,01	20,01%
Según eett de obra gruesa se considera matacanto de 20 mm de lado en todos los pilares y vigas con altura libre menor de 5 m. En detalle de arquitectura considera matacanto de 25 mm.	67	09/12/10	64,33	16.973,34	20,09%
Modificación muro berlines por presencia de roca en terreno. Aumento de obra adicional nº 10, en cantidad de pernos de anclaje para pilares	69	17/12/10	235,15	17.208,49	20,37%
Aumento en dimensión de estanque debido a la fusión de los 2 edificios originales a y b en uno solo	29	30/12/10	3.457,00	20.665,49	24,46%
Se agrega 1 cortina de rollo galvanizada según rdi nº 146	75	30/12/10	55,65	20.721,14	24,52%
Cambio en baño personal nivel + 14.00 según ficha de modificación enviada por arquitectura	77	07/01/11	70,94	20.792,08	24,61%
Incorporación de estacionamientos en nivel -6.80 sector 7-10/ k-p (presentación 2)	81	10/01/11	1.725,38	22.517,46	26,65%
Agotamiento ejes s' / 7-11	82	14/01/11	75,00	22.592,46	26,74%
Refuerzos para los cajones en muros de rampa para posterior instalación de focos embutidos con y sin kit de emergencia	84	14/01/11	665,87	23.258,33	27,53%

Concepto	Nº O.E.	Fecha	Monto (UF)	Monto Acumulado	% Acumulado
Mejoramiento de suelo con hormigón pobre para fundación de pilares perimetrales	92	25/01/11	257,70	23.516,03	27,83%
Modificación de enfierradura losa cielo cámara sentina entre plano recepcionado el 22 de sept. 2010 y plano recepcionado el 17 de noviembre 2010	91	26/01/11	709,39	24.225,42	28,67%
Modificaciones enfierraduras en vigas y losa nivel - 3,50	90	04/02/11	691,90	24.917,32	29,49%
Enfierradura en fosos ascensores y rampas mecanicas	89	04/02/11	121,21	25.038,53	29,63%
Diferencia en planos de propuesta y planos de construcción, modifica cantidades de canalizaciones, alimentaciones, circuitos y equipos de iluminación para el mall.	87	04/02/11	398,00	25.436,53	30,10%
Diferencia en planos de propuesta y planos de construcción, modifica cantidades de enfierradura, hormigon y moldaje en muros y pilares desde -6,80 hasta coronacion.	88	04/02/11	800,67	26.237,20	31,05%
Diferencia en planos de propuesta y planos de construcción, modifica cantidades de enfierradura, hormigon y moldaje en losas y vigas +0,00	96	16/02/11	20,77	26.257,97	31,08%
Diferencia en planos de propuesta y planos de construcción, modifica cantidades de hormigón , moldaje y enfierradura en vigas y losas nivel +3,80	99	16/02/11	121,03	26.379,00	31,22%
Diferencia en planos de propuesta y planos de construcción, modifica cantidades de hormigón , moldaje y enfierradura en vigas y losas nivel +6,1	100	16/02/11	26,29	26.405,29	31,25%
Diferencia en planos de propuesta y planos de construcción, modifica cantidades de hormigón , moldaje y enfierradura en vigas y losas nivel +9,50	101	16/02/11	174,53	26.579,82	31,46%
Diferencia en planos de propuesta y planos de construcción, modifica cantidades de hormigón , moldaje y enfierradura en vigas y losas nivel +14,00 +15,00	102	16/02/11	63,26	26.643,08	31,53%
Diferencia en planos de propuesta y planos de construcción, modifica cantidades de hormigón , moldaje y enfierradura en vigas y losas nivel +17,30 +18,30	103	16/02/11	24,03	26.667,10	31,56%
Diferencia en planos de propuesta y planos de construcción, modifica cantidades de hormigón y moldaje en vigas y losas nivel +3,80	93	17/02/11	757,13	27.424,23	32,46%
Diferencia en planos de propuesta y planos de construcción, modifica cantidades de revestimiento screenpanel hanter douglas en fachadas	104	21/02/11	2.873,86	30.298,09	35,86%
Cambio de pasadas en vigas, muros y losas en nivel +3,80 para instalación de especialidades.	106	21/02/11	1.314,49	31.612,58	37,41%
Modificaciones en pilares diagonales ubicados en eje c/ modulo a.	108	23/02/11	88,78	31.701,36	37,52%
Diferencia en enfierradura planos de propuesta y planos de construccion.	114	28/02/11	340,51	32.041,88	37,92%
Ejecución de cámara de aguas lluvias entre ejes 3-4 / h-j	83	01/03/11	1.710,70	33.752,58	39,95%
Diferencias en fierro, hormigon y moldaje por generacion de pasadas para instalacion de especialidades en vigas, muros y losas	111	01/03/11	800,77	34.553,35	40,89%
Enfierradura pilar 9b	109	01/03/11	4,45	34.557,80	40,90%
Relleno hormigon pobre sector rampa ejes 10-10b / q2-s'	112	03/03/11	559,32	35.117,12	41,56%

Concepto	Nº O.E.	Fecha	Monto (UF)	Monto Acumulado	% Acumulado
Incorporacion detalle de enfierradura para la fundacion del eje 12 entre b2-h	116	07/03/11	78,20	35.195,32	41,65%
Cambios en revestimiento de pisos nivel +3,80, proyecto construcción con respecto a propuesta	78	09/03/11	65,96	35.261,28	41,73%
Mitigacion vial	118	14/03/11	623,74	35.885,02	42,47%
En proyecto electrico, se agrego al centro de distribucion de media tension, dos nuevas unidades de celdas.	119	30/03/11	293,98	36.179,00	42,82%
Se agrega detalle foso ascensor nivel +3,80, no considerado en plano 1003 de constrato	113	01/04/11	23,29	36.202,28	42,84%
Diferencia entre planos de propuesta y contrato en rampa acceso sector o'-s/11a-12	120	01/04/11	387,77	36.590,05	43,30%
Relleno hormigon pobre bajo fundacion eje 12/f-b2, ya que terreno natural esta por debajo de lo requerido.	123	01/04/11	370,55	36.960,60	43,74%
Alimentador exclusivo para tablero de fuerza y control de bomba jockey, y alimentador para tablero de fuerza y control de bomba de incendio.	122	05/04/11	30,49	36.991,09	43,78%
Enfierradura pilares diagonales eje p/modulo a, modificación para disminuir la densificación de enfierradura en nudos, facilitando su constructibilidad	130	11/04/11	84,47	37.075,55	43,88%
Canalizacion, cables y tableros requerimientos proyecto climatizacion de termika, no prsente en proyecto newen ni ty p.	126	13/04/11	2.153,96	39.229,51	46,43%
Pintura en estacionamientos, item no considerado en contrato	128	25/04/11	175,94	39.405,45	46,64%
Cambio en insertos cercha patio de comidas con el objetivo de mejorar la ubicación del inserto en el pilar de hormigón correspondiente	129	25/04/11	40,93	39.446,38	46,68%
Proyectista debido a requerimiento esval debe cambiar tipo de bombas de las peas que estaban consideradas en proyecto original.	132	25/04/11	249,19	39.695,57	46,98%
Cobro sanitario debido a modificacion por desplazamiento camara disp. N°3, diferencia entre proyecto version v1 y vr2(actual)	131	26/04/11	383,89	40.079,46	47,43%
Cobro por puertas recinto tecnico nivel -6,80, las cuales no estaban especificadas en planos de contrato.	133	28/04/11	18,55	40.098,01	47,46%
Impacto en hormigonado en losa b1 debido a modificación en viga eje 8-9/b	136	28/04/11	962,05	41.060,06	48,59%
MAYORES COSTOS EN LOSA A8 DEBIDO A MODIFICACIÓN VIGA A-223a-b, eje P/2A-5	137	28/04/11	435,29	41.495,35	49,11%
Impacto por modificación de cálculo en anden sector b	139	28/04/11	408,90	41.904,25	49,59%
IMPACTO EN LIBERACIÓN SECTOR VOLADIZO NIVEL +9,50 (MOLDAJE + MANO DE OBRA) POR INTERFERENCIA CON TRABAJOS EISTU, total 45 mts	138	29/04/11	361,14	42.265,39	50,02%
Desarme tuberia pvc y ppa nivel -6.80 eje 1/a-f y a/1-2	125	10/05/11	47,20	42.312,59	50,08%
Modificacion anclajes perfiles metalicos mv4, nivel 0,00 a +8,6 (bajo viga))	143	10/05/11	205,17	42.517,77	50,32%
Soporte mampara mv9 - mv10 (eje 2-5/b) nivel 0,00	144	10/05/11	84,87	42.602,64	50,42%
Rejillas aguas lluvias nivel -6.80	148	10/05/11	2.095,55	44.698,19	52,90%
Pasada para extraccion forzada estanque sanitario	150	10/05/11	30,00	44.728,19	52,93%
Canaleta aguas lluvias anden homecenter	135	10/05/11	273,31	45.001,50	53,26%

Concepto	Nº O.E.	Fecha	Monto (UF)	Monto Acumulado	% Acumulado
Enfierradura rampa peatonal no aparece en planos de propuesta de calculo, si en planos de arquitectura.	153	12/05/11	27,87	45.029,36	53,29%
Modificación en las dimensiones de vigas y adición de nuevas en nivel +15,00 entre los ejes 3-4/b-e, debido a requerimientos de vsl., ya que las vpt de los ejes b,d, y e no tenían suficiente sección para resistir las cargas de proyecto.	156	20/05/11	48,88	45.078,24	53,35%
Detalle faltante zocalo mampara vidriada nivel +0,00 al +18,00	146	24/05/11	1.016,47	46.094,72	54,55%
Mayores costos en obras de pilares perimetrales por excavación en roca con sobreexcavación y rellenos	134	24/05/11	43,25	46.137,97	54,60%
Enfierradura eje b2 /11'-12 RDI 312 nivel fundacion	160	26/05/11	5,65	46.143,62	54,61%
Disminucion camara media tension	157	31/05/11	258,62	46.402,24	54,92%
Ductos inyeccion aire exterior por interferencia con altura de cielos	165	31/05/11	144,42	46.546,66	55,09%
Camaras Corrientes Debiles en veredas son parte de proyecto EISTU.	169	01/06/11	261,00	46.807,66	55,40%
Estanques sanitarios y de aguas lluvias	158	03/06/11	1.621,07	48.428,73	57,31%
Interferencia en pila nº 39 de pilares perimetrales	171	03/06/11	20,00	48.448,73	57,34%
Puertas estanque de agua potable	168	15/06/11	51,01	48.499,74	57,40%
Alimentadores, cables y canalizacion para tableros - proyecto climatizacion	173	15/06/11	1.079,22	49.578,96	58,68%
Modificacion sala electrica nivel +18,30	177	15/06/11	2.150,00	51.728,96	61,22%
Escotillas acceso y ventilacion estanque agua potable	178	15/06/11	16,50	51.745,46	61,24%
Puertas metalicas acceso recinto tecnico (RDI 333)	182	22/06/11	50,00	51.795,46	61,30%
Centrado de sprinklers en cielos modulares nivel -3,5 y nivel 0,00	197	30/06/11	51,83	51.847,29	61,36%
Baldosas proyecto ambientacion	183	04/07/11	323,02	52.170,31	61,74%
Estructuras metalica interior y chambrana fosa ascensor	184	08/07/11	1.011,00	53.181,31	62,94%
Modificacion estructura metalica vitrina locales comerciales (+3,80; +9,50)	202	08/07/11	2.012,00	55.193,31	65,32%
Modificacion anclajes doble altura mv4 (RDI 349)	200	08/07/11	218,17	55.411,48	65,58%
Proyecto de techumbre n.+18,30	187	11/07/11	1.300,00	56.711,48	67,12%
Modificacion calculo eje a-e / 3-4 nivel +18,00	141	13/07/11	297,47	57.008,95	67,47%
Diferencia complementaria de enfierradura, moldaje y hormigón losas y vigas nivel -3,5	186	13/07/11	19,12	57.028,07	67,49%
Diferencia complementaria enfierradura, moldaje y hormigón losas y vigas nivel +6,1	190	13/07/11	28,46	57.056,53	67,53%
Diferencia complementaria enfierradura, moldaje y hormigón losas y vigas nivel +9,5	191	13/07/11	46,88	57.103,41	67,58%
Diferencia complementaria enfierradura, moldaje y hormigón losas y vigas nivel +14,00 +15,00	192	13/07/11	111,04	57.214,45	67,71%
Diferencia complementaria de enfierradura, moldaje y hormigón muros desde nivel -6,8 al +18,30	194	13/07/11	344,08	57.558,53	68,12%
Diferencia complementaria de enfierradura, moldaje y hormigón pilares desde nivel -6,8 al +18,30	195	13/07/11	4,65	57.563,18	68,12%
Cubicacion enfierradura fichas de calculos distintos niveles	196	13/07/11	26,96	57.590,14	68,16%

Concepto	Nº O.E.	Fecha	Monto (UF)	Monto Acumulado	% Acumulado
Diferencia complementaria enfierradura, moldaje y hormigón losas y vigas nivel +3,8	198	13/07/11	52,49	57.642,63	68,22%
Modificacion enfierradura por terminales lenton RDI 355	206	15/07/11	16,02	57.658,65	68,24%
Diferencia complementaria enfierradura, moldaje y hormigón losas y vigas nivel +17,30 / +18,30	193	15/07/11	697,14	58.355,79	69,06%
Modificacion material cielo en hall nivel -6,8	166	18/07/11	426,56	58.782,35	69,57%
Zocalo de hormigone eje n2	214	18/07/11	24,50	58.806,85	69,60%
Modificacion soporte portal eje a	216	18/07/11	13,86	58.820,71	69,61%
Insertos placa soportante estructura metalica escalera nº 14 (RDI 472)	217	18/07/11	6,47	58.827,18	69,62%
Modificacion de fachada	218	18/07/11	7.264,10	66.091,28	78,22%
Estructura soportante umas	213	18/07/11	74,00	66.165,28	78,31%
Conexión puentes peatonales	215	20/07/11	81,75	66.247,03	78,40%
Estructura soporte umas 3.1 a 3.3	226	20/07/11	217,41	66.464,44	78,66%
Terminacion estriada de rampas c/angulo metalico	222	22/07/11	660,34	67.124,78	79,44%
Sobrelosa en altillo para nivelar losa	223	22/07/11	195,00	67.319,78	79,67%
Modificación de red de sprinklers por mala ejecución de pasadas nivel +3.80	224	22/07/11	246,00	67.565,78	79,96%
Pintura de Losa (Nivel +3.80)	225	22/07/11	638,00	68.203,78	80,72%
Detalle antepecho +9,50 modulo a	227	22/07/11	124,00	68.327,78	80,86%
Modificacion malla acma sobrelosa	229	22/07/11	1.584,54	69.912,32	82,74%
Diferencias recorrido agua potable nivel -6,8	205	29/07/11	35,57	69.947,89	82,78%
Contrahuellas escaleras metalicas	231	29/07/11	173,64	70.121,53	82,99%
Disminucion baldosas veredas exteriores	233	01/08/11	490,00	70.611,53	83,57%
Modificación baño familiar y discapacitado nivel + 9,50	86	02/08/11	15,91	70.627,44	83,59%
Canalizacion media tension	232	02/08/11	965,05	71.592,48	84,73%
Disminucion muro medianero eje 12	235	05/08/11	53,00	71.645,48	84,79%
Modificacion tabique, cielo,zocalo hall eje 7-9 nivel -6,8 (ficha 15)	201	08/08/11	69,68	71.715,16	84,87%
Modificacion wc baños publicos +9,5	238	23/08/11	55,22	71.770,38	84,94%
Construccion de camarara en colector esval (calle limache)	240	23/08/11	47,85	71.818,23	85,00%
Demolicion y sobreexcavacion pilas perimetrales ejes b2 - pilas 1-2-7y 8	234	23/08/11	1.877,62	73.695,85	87,22%
Reparacion de vigas y elementos de puentes peatonales y vehiculares	242	23/08/11	80,00	73.775,85	87,31%
Modificacion tapas estanques alcantarillado	174	23/08/11	293,00	74.068,85	87,66%
Modificacion fierro pilar 3g	246	06/09/11	0,47	74.069,32	87,66%
Provision e instalacion tableros de transferencia automatica (tta)	251	07/09/11	265,73	74.335,04	87,97%
Modificacion evacuacion de aguas lluvias nivel + 9,5	236	07/09/11	1.986,99	76.322,03	90,33%
Malla acma adicional nivel +9,5	247	07/09/11	71,00	76.393,03	90,41%
Cambio de alimentacion baños administracion nivel + 15,00-RDI 514	239	09/09/11	500,00	76.893,03	91,00%
Moficacion puentes peatonales (insertos)	241	09/09/11	38,73	76.931,76	91,05%

Concepto	Nº O.E.	Fecha	Monto (UF)	Monto Acumulado	% Acumulado
Requerimientos conafe para sala electrica nivel + 18,30	245	13/09/11	83,72	77.015,48	91,15%
Estructura metalica cielo n + 9,5 ejes 2-3// k-l	255	13/09/11	134,39	77.149,87	91,31%
Complementos a requerimientos sala conafe nivel + 18,30	253	15/09/11	112,41	77.262,28	91,44%
Nuevo cielo galeria nivel + 3,8	258	15/09/11	42,00	77.304,28	91,49%
Antepecho escalera mecanica nivel +14,00 ejes 7/h - k RDI 574	259	15/09/11	31,05	77.335,33	91,52%
Antepecho puente vehicular y peatonales -RDI -572	260	15/09/11	5,73	77.341,06	91,53%
Cielos registrables nivel + 3,8 y 9,5	261	15/09/11	1.881,07	79.222,14	93,76%
Incompatibilidad entre cielos baños y proyecto ductos de climatizacion (cota + 15)	265	20/09/11	165,16	79.387,29	93,95%
Losa flotante nivel +0,90 (obra gruesa)	266	22/09/11	28,24	79.415,53	93,99%
Terminaciones sala electrica nivel + 18,30	263	23/09/11	95,11	79.510,64	94,10%
Muestra tapas bilco nacional	270	30/09/11	17,28	79.527,93	94,12%
Estrucura corniza calle quilpue	271	11/10/11	705,42	80.233,35	94,95%
Estructura primaria fachada ejes 2-3/ RDI 568	272	11/10/11	74,34	80.307,69	95,04%
Solucion borde rampa mecanica nivel + 9,5 RDI 558	276	18/10/11	67,39	80.375,08	95,12%
Cubierta adicional nivel + 9,5	279	19/10/11	200,00	80.575,08	95,36%
Estructura fachada eje 11-12 viana	278	20/10/11	76,44	80.651,52	95,45%
Modificacion banquetta reposicion pendiente colector 200mm	287	03/11/11	11,90	80.663,42	95,46%
Modificación proyecto agua potable nivel +3,8	302	25/11/11	103,95	80.767,37	95,59%
Modificación proyecto alcantarillado nivel +9,5	303	25/11/11	95,67	80.863,04	95,70%
Desplazamiento gabinete de gas nivel 0,00	305	25/11/11	31,10	80.894,14	95,74%
Modificacion de fachada en calle Quilpue eje j-k	72	30/11/11	526,35	81.420,49	96,36%
Relleno pozo de agua encontrado en terreno bajo nivel de fundacion	62	01/12/11	140,00	81.560,49	96,52%
Cambio escuadría de perfiles para muro berlines	176	-	2.317,00	83.877,49	99,27%
Demoliciones dados de hormigón bajo cota 0.0 y retiro a botadero.según aclaración N° 61 (Protocolos 18 al 48)	24 - 26 y 34 - 61	29-09-10 al 09-11-10	55,63	83.933,12	99,33%
Canaleta con rejilla tipo Ulma. subteraneo - 6.80 no se instala rejilla en nivel - 6,80, debido a que constructora acusa recibo de planos en forma tardía a ejecución de partida.	221		293,23	84.226,35	99,68%
Diferencia en modificación enfierradura nivel - 3,50	188		270,50	84.496,85	100,00%

De la tabla anterior, se tiene que la aprobación del 50% de los cambios se produjo con la obra extra N° 138 el día 29 de abril de 2011.

De la revisión de los estados de pago se obtuvo el siguiente resumen del avance de la obra:

N° E.P.	FECHA	% avance
6	dic-10	24%
8	feb-11	39%
13	jul-11	70,29%

La determinación de la curva de productividad se realiza mediante el siguiente cuadro:

**Tabla 6:** Cuadro de determinación de la curva de productividad

Curva	Requisito	Condición real de la obra	Cumplimiento
Temprana	En la fecha del 20% de avance (dic-2010) se debe tener aprobado el 50% o más de los cambios	Se tiene el 24% de los cambios	No se cumple
Normal	En la fecha del 40% de avance (feb-2011) se debe tener aprobado el 50% o más de los cambios	Se tiene el 38% de los cambios	No se cumple
Tardía	En la fecha del 70% de avance (julio 2011) se debe tener aprobado el 50% o más de los cambios	Se tiene el 83% de los cambios	Si se cumple

Por lo tanto, del cuadro anterior se tiene que la curva a utilizar es la Tardía, cuya ecuación es:

$$Productividad (\%) = 0,9796 \times e^{-1,924 \times \%cambios}$$

Con los datos obtenidos anteriormente, la Productividad queda definida con la ecuación anterior, de la siguiente forma:

$$79,34\% = 0,9796 \times e^{-1,924 \times 10,96\%}$$

Entonces, la Improductividad = 1 – Productividad, resulta de 20,66%

Por lo tanto, se ha determinado que del total de Horas Hombre gastadas en la obra, un 20,66% de ellas fueron improductivas.

Total de HH gastadas en la obra	1.445.813 HH
Improductividad 20,66%	298.763 HH
Costo en \$ (1HH=\$ 3.510)	\$ 1.048.658.891

En resumen, producto de los cambios realizados al proyecto en la etapa de construcción se estimó con este método que la constructora gastó \$ 1.048.658.891 en mano de obra improductiva.

Además, como se explicó en el capítulo del Estado del Arte, este costo no está incorporado en los presupuestos de las notas de cambio presentadas por la constructora y que fueron pagadas por el mandante, por lo tanto significa una pérdida para la constructora.

- **Comparación de resultados cambiando la condición de temporalidad de los cambios del método de lbs.**

Como una manera de conocer como varía el resultado de la improductividad al cambiar la temporalidad en que se efectuaron los cambios del proyecto a continuación se los cálculos de improductividad con las curvas temprana y normal:

Curva de temporalidad Temprana:

$$Productividad (\%) = 93,96\% = 1,0511 \times e^{-1,0228 \times 10,96\%}$$

$$Improductividad (\%) = 6,04\%$$

Curva de temporalidad Normal:

$$Productividad (\%) = 86,08\% = 2,0421 * (10,96\%)^2 - 1,9234 * 10,96\% + 1,0471$$



*Improductividad (%) = 13,92%*

Los resultados de las tres curvas de temporalidad son los siguientes:

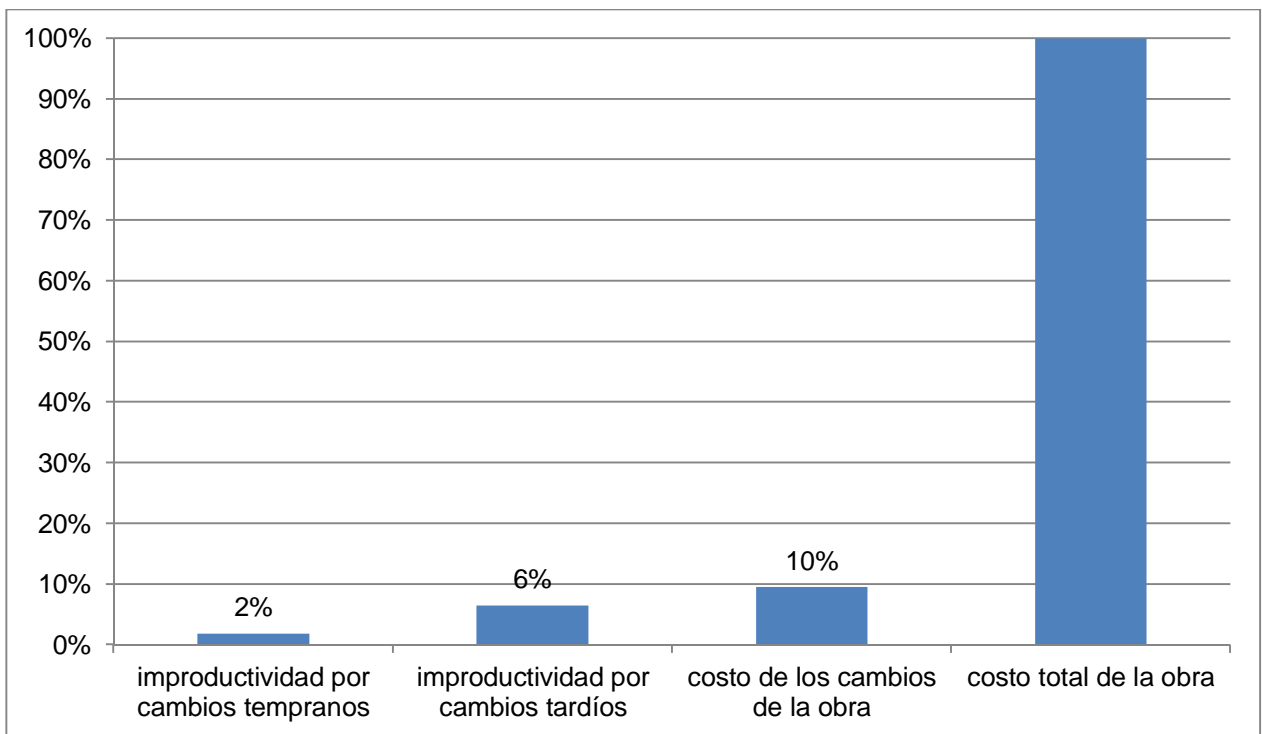
	Improductividad		
	Tardía	Normal	Temprana
	20,66%	13,92%	6,04%
HH Improductivas	298.763 HH	201.220	87.274
Costo en \$ (1HH=\$ 3.510)	1.048.658.891	706.283.806	306.330.355

De la tabla anterior, se tiene que como los cambios se realizaron en forma tardía con el 50% de los cambios realizados con un 70% de avance el costo de la improductividad fue de \$ 1.048.658.891, lo que corresponde a un 6,5% del costo total de la obra facturado al mandante (\$16.240.884.000)

En cambio, si por lo menos el 50% de los cambios se hubiera realizado tempranamente, con un 20% de avance de la obra, la improductividad habría sido de \$ 306.330.355 lo que corresponde a un 1,9% del costo de la obra.

Comparación de la improductividad con respecto del costo total de la obra:

Detalle	Costo (\$)	% respecto del costo total de la obra
improductividad por cambios tempranos	306.330.355	2%
improductividad por cambios tardíos	1.048.658.891	6%
costo de los cambios de la obra	1.544.884.000	10%
costo total de la obra	16.240.884.000	100%

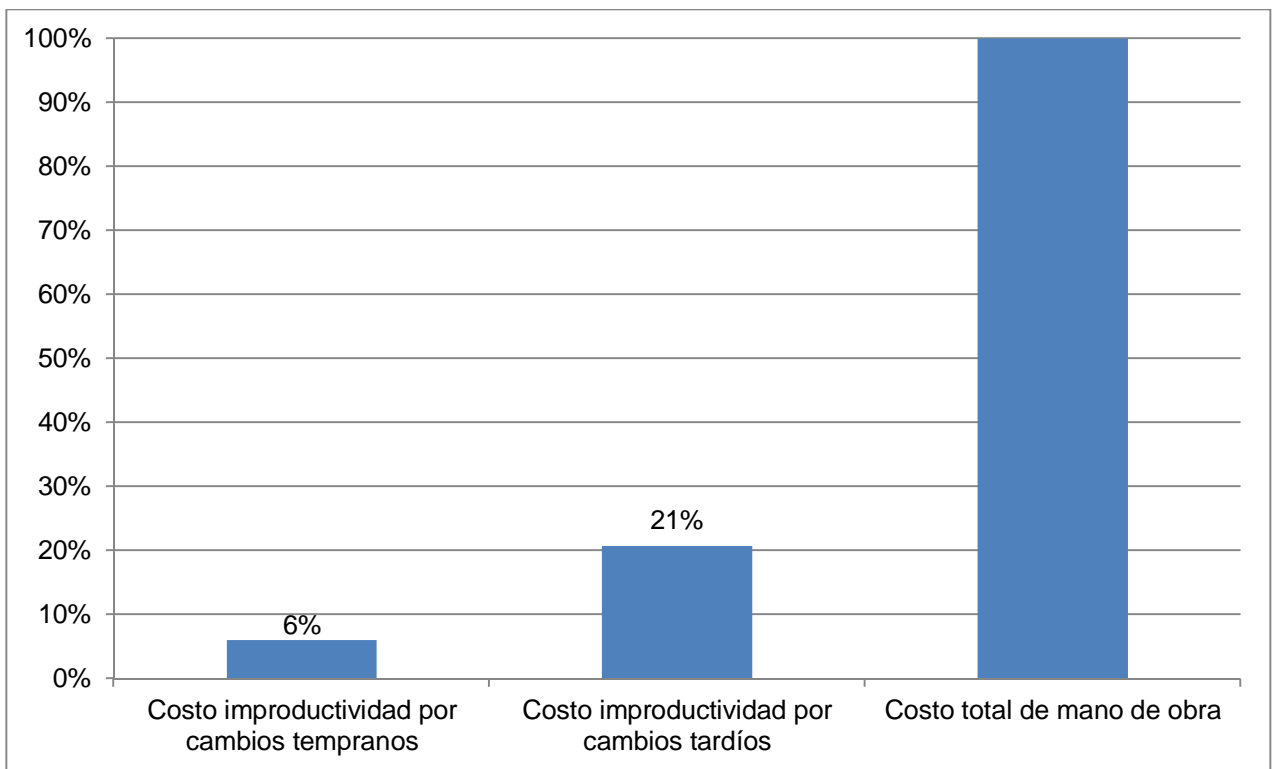


**Figura 12:** Comparación de la improductividad con respecto del costo total de la obra

Del gráfico anterior, se tiene que debido a que los cambios fueron realizados tardíamente, un 6% del costo total de la obra resulto ser mano de obra improductiva, porcentaje que hubiera bajado a un 2% si los cambios se hubieran realizado tempranamente.

Comparación de la improductividad con respecto del costo total de la mano de obra utilizada en la construcción:

Detalle	Costo (\$)	% respecto del costo total de M/O
Costo improductividad por cambios tempranos	306.330.355	6%
Costo improductividad por cambios tardíos	1.048.658.891	21%
Costo total de mano de obra	5.074.803.630	100%



**Figura 13:** Comparación de la improductividad con respecto del costo total de la mano de obra utilizada en la construcción

Del gráfico anterior, se tiene que si los cambios se hubieran realizado tempranamente un 6% del costo total de mano de obra habría sido improductiva, pero como los cambios fueron realizados tardíamente, el 21% del costo total de mano de obra resultó improductiva.

#### 4.1.2. Comparación del resultado obtenido utilizando el método de Leonard

Utilizando los datos obtenidos del ejercicio anterior se tiene:

Total HH de los cambios	158.459
Total HH de la obra	1.445.813
HH contrato base	1.287.354

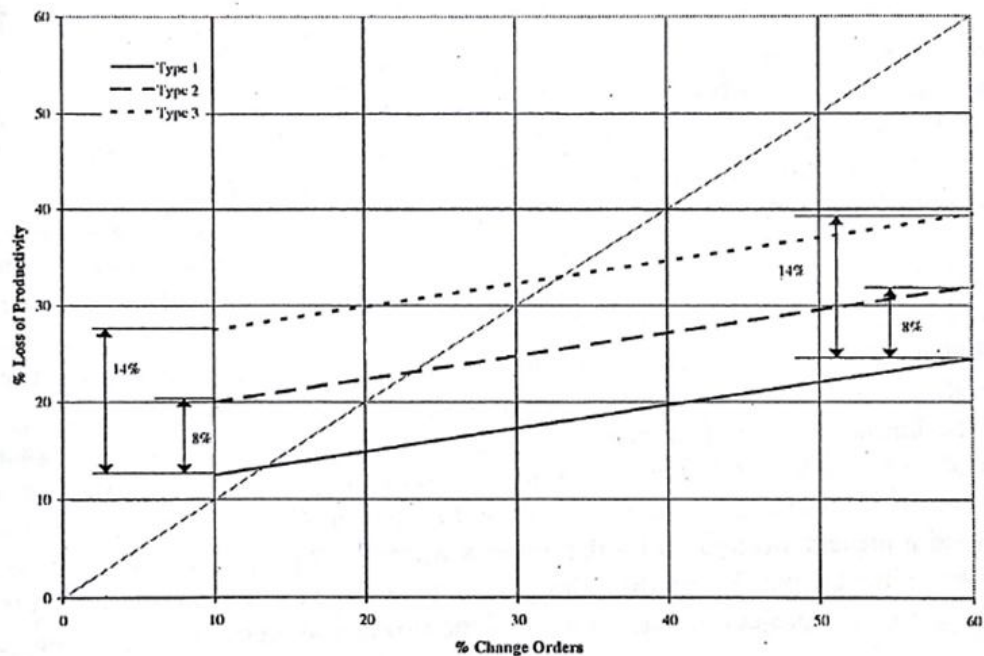
Las horas del contrato base (contractuales reales) se calculan restando Horas Hombre orden de cambio y cualquier Hora Hombre improductivas atribuibles a ineficiencias contratista tales como deficiencias de reparación y la interrupción del trabajo, y las inclemencias del tiempo.

Para calcular las HH del contrato base se estimo que improductividad propia constructora es cero.

$$\% \text{ Ordenes de Cambio} = \frac{\text{Horas Hombre de Ordenes de Cambio}}{\text{Horas Hombre de Contrato Base}}$$

% ordenes de cambio = 12,31%

Para la estimación del porcentaje de pérdida de productividad se utilizó el siguiente gráfico de Orden de Cambio versus Pérdida de Productividad definido por Leonard para obras Civiles y de Arquitectura:



- Tipo 1, cuando el único gran impacto en la productividad fueron los órdenes de cambio.
- Tipo 2, cuando otro (\*) factor de impacto estuvo presente.
- Tipo 3, cuando otros (\*) dos factores de impacto estuvieron presentes.

Nota: (\*) los otros factores que afectan la productividad del trabajo, según la definición de Leonard, son la inadecuada coordinación y la programación, la aceleración, el acceso impedido, y el cambio de prioridades.

Cabe señalar que la clasificación tipo 1,2 y 3 está sujeta a la interpretación del usuario lo que genera una incertidumbre en el cálculo si es que no se sabe exactamente cuál fue la causa de la ineficiencia. Una forma efectiva de elegir la curva más adecuada es llevando registros históricos de los hechos más relevantes de la obra.

Detalle	Curva 1	Curva 2	Curva 3
% cambios	12,31	12,31	12,31
% pérdida de productividad	13%	21%	28%
HH Improductivas	160.919	263.908	360.459

$$\text{HH improductivas} = \% \text{pérdida de Productividad} \times \text{HH del contrato base}$$

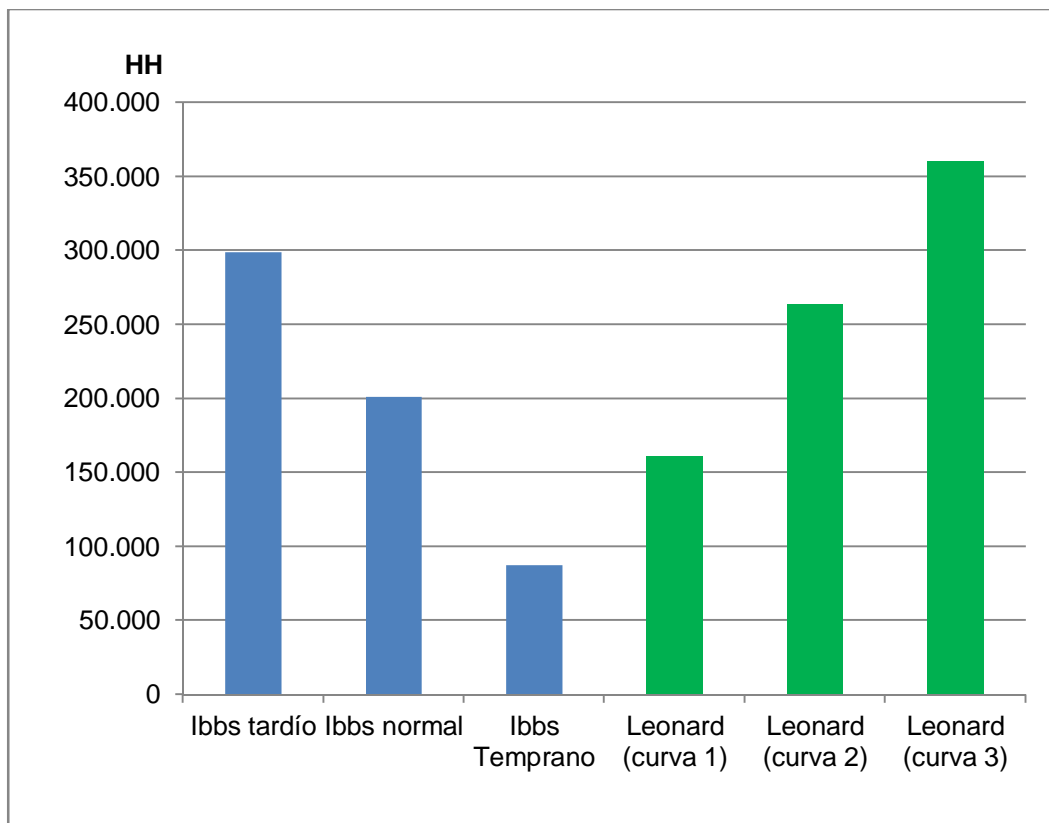
Dado que, en este ejemplo no se contó con registros de situaciones de la obra que pudieran ayudar a identificar los tipos de impactos ocurridos en la obra, se estimó que el único gran impacto en la productividad fueron las órdenes de cambio, por lo tanto se utilizó la curva tipo 1, entonces la cantidad de HH improductivas fue HH160.919, lo que generó un costo de \$ 564.826.568, considerando el valor \$3.510 el valor de cada HH promedio.

Si se compara el resultado obtenido con el método de Leonard con lo obtenido anteriormente con el método de Ibbs, se tiene:

	Improductividad		
	IBBS	Normal	Temprana
	Tardía		
	20,66%	13,92%	6,04%
HH Improductivas	298.763	201.220	87.274
Costo en \$ (1HH=\$ 3.510)	1.048.658.891	706.283.806	306.330.355

El resultado obtenido con el método de Leonard (HH160.919) se ubica entre la curva normal y la temprana de Ibbs.

Para realizar una comparación de los resultados obtenidos con los métodos de Ibbs y Leonard, se presenta el siguiente gráfico:



**Figura 14:** Comparación de resultados obtenidos con los métodos de Ibbs y Leonard

Del gráfico anterior, se tiene:

- Leonard no considera el factor de temporalidad de los cambios, lo que hace variar sus resultados con la cantidad de factores de impacto de la improductividad que estuvieron presentes en la obra.
- El mayor resultado de Leonard (curva 3), resulta ser mayor en un 17% que el resultado obtenido con la curva de Ibbs tardía.

Dado que no se tiene certeza de los impactos relevantes en la productividad de la obra, que definen la curva a utilizar y que Leonard no considera la temporalidad de la ocurrencia de los cambios, en este caso se considera que el resultado obtenido con el método de Ibbs es una mejor aproximación de la realidad de improductividad de la obra.

#### 4.1.3. Comparación del resultado obtenido utilizando el método del Costo Total

Dado que, no se cuenta con información respecto de ineficiencias propias de la constructora para aplicar al Método del Costo Total Modificado, se utiliza el Método del Costo Total, considerando, entonces que la constructora no tuvo ineficiencias propias, es decir que toda la improductividad es producto del mandante.

El método del Costo Total presenta la siguiente ecuación:

$$\text{Costo total de Mano de obra (M/O) reclamada} = \text{Costo total de M/O gastada} - \text{Costo total del M/O presupuestada}$$

Con los datos obtenidos anteriormente se tiene:

<b>Detalle</b>	<b>HH</b>
HH Total real de la obra	1.445.813
HH Total presupuestado de contrato con los cambios	989.306
Diferencia (Improductividad)	456.507

La tabla anterior, indica que la mano de obra improductiva que resulta al restar la mano de obra total gastada en la obra con la mano de obra total presupuestada (incluidas las HH presupuestadas de los cambios), corresponde a 456.507 HH.

Si se compar este resultado con la improductividad obtenida con el método de lbbs se tiene lo siguiente:

<b>Detalle</b>	<b>HH</b>
Improductividad (método Costo Total)	456.507
Improductividad (método lbbs)	298.763
% relativo a Costo Total	65%

El resultado anterior, indica que del total de 456.507 HH perdidas por la constructora en el desarrollo de la obra, 298.763 HH son de responsabilidad del mandante producto de



los cambios requeridos, lo que corresponde a un 65 % de la pérdida total de mano de obra, y el 35% restante corresponde a ineficiencias propias de la constructora.

Como se explicó en la definición del método del Costo Total, este resultado de 456.507 HH perdidas por la constructora nos da un límite máximo para el resultado de la aplicación de cualquier otro de los métodos. Por lo tanto, las 298.763 HH perdidas producto de los cambios, determinadas por el método de Ibbs resulta ser una estimación razonable.

## **CAPÍTULO 5 – CONCLUSIONES Y COMENTARIOS**

Desde el punto de vista del contratista, en una obra de construcción, los cambios tienen un efecto negativo sobre la productividad de la mano de obra, lo que genera que en la ejecución de los cambios se utilice más mano de obra de lo que el contratista presupuestó en la preparación de la Nota de Cambio. Por lo tanto, los costos reales de la ejecución de los cambios solicitados por el mandante resultan mayores a los presupuestados, lo que produce una pérdida que el contratista no tiene considerada.

Además, los contratistas, que son especialistas en realizar presupuestos y estimar plazos, se les hace muy difícil estimar el impacto que producen estas modificaciones en el desarrollo de la obra.

Para resolver la necesidad de determinar la pérdida de productividad de mano de obra que generan los cambios de proyecto, en este estudio se logró identificar los siguientes métodos que se pueden clasificar según el resultado que entregan:

- Pérdida de productividad total de la obra que se genera por situaciones de responsabilidad de ambas partes, mandante, contratista o por factores externos (incluye la improductividad por los cambios de proyectos).
  - Costo total
  - Milla medida
  - Método de agrupación estadística
  - Valor Ganado
  
- Pérdida de productividad debida solo a los cambios de proyectos.
  - Los Factores de Improductividad de la MCAA
  - Costo total modificado
  - Leonard
  - Ibbs

De estos métodos identificados, se presentan las siguientes conclusiones respecto de su aplicabilidad en la industria de la construcción nacional:

1. El método más reconocido en la literatura revisada es el método de Milla Medida, debido a que utiliza solo los rendimientos reales obtenidos de la obra. Además, deja fuera del análisis el periodo inicial, de puesta en marcha de la partida, en el cual se produce la curva de aprendizaje de la cuadrilla que ejecuta la actividad, debido a que este periodo forma parte del proceso constructivo del contratista y por lo tanto no se debe considerar como improductividad.

La desventaja de este método es que no se puede aplicar en proyectos de construcción en los cuales no se dispone de registros detallados de productividad y/o falta un área no impactadas adecuada.

2. El método de la Agrupación Estadística utiliza datos reales obtenidos de terreno, esta característica elimina del análisis la distorsión que significa la comparación de rendimientos reales con los rendimientos considerados en el presupuesto ya que el presupuesto puede tener errores tales como rendimientos sobre o subvalorados, errores de cuantificación de obra y presupuestos incompletos, que no incluyen la totalidad de las partidas del proyecto.

La desventaja de este método es que incluye los datos obtenidos en el periodo inicial de puesta en marcha de la partida lo que es parte del proceso constructivo del contratista y por lo tanto no se debería considerar como improductividad.

3. El método de Costo Total compara los costos reales con los costos de presupuesto. Su desventaja es que el presupuesto de la obra contratada, con el que compara los costos reales, puede presentar errores. Además puede resultar muy complicado justificar o validar que los costos reales no tienen relación con ineficiencias propias del contratista, lo que genera desconfianza en el resultado obtenido.
4. El método del Valor Ganado compara los costos o la cantidad de mano de obra presupuestada con los reales de una obra o de una partida específica, su resultado

es similar al obtenido con el método del costo total y también requiere de la misma información para su empleo.

La desventaja de este método es que su resultado incluye todas las causas posibles de improductividad, como por ejemplo, por parte del contratista, los errores de presupuesto (tales como rendimientos sobre o subvalorados y errores de cuantificación de obra) y la gestión deficiente de los recursos como la mano de obra. Por parte del mandante, cambios de proyecto y mala gestión por parte del mandante, entre otros muchos factores.

5. Los métodos descritos anteriormente se pueden utilizar para determinar la improductividad de responsabilidad del mandante (como los cambios de proyecto) realizando una identificación de las situaciones ocurridas en la obra que causaron la pérdida de productividad, es decir una relación de causa-efecto.
6. El método de los Factores de Improductividad de la MCAA no requiere de registros del seguimiento continuo de la productividad de la obra, ya que los factores actúan directamente sobre la cantidad de mano de obra presupuestada para cada Nota de Cambio. Pero, la principal desventaja es la naturaleza arbitraria y subjetiva de estos factores que debilita su credibilidad. Además, se debe tener en cuenta que estos factores se basan en la experiencia particular de la industria de Estados Unidos, lo que hace más cuestionable su aplicación en Chile.
7. El método de costo total modificado puede ser una buena herramienta si se utiliza adecuadamente, más aun si se usa para validar el resultado obtenido por otros métodos como el Milla Medida o el método de Ibbs, por ejemplo.
8. Respecto de los métodos teóricos Ibbs y Leonard, son los únicos dos métodos que determinan en forma directa la pérdida de productividad debido a los cambios de proyectos.

Durante la realización de este estudio no fue posible encontrar casos reales en Chile donde se hayan utilizado estos métodos y comprobado sus resultados. Por lo

tanto, hasta no tener la validación empírica de estos métodos en Chile, se recomienda que el resultado obtenido por el uso de estos métodos, sea considerado como una referencia o una aproximación de la cantidad real de mano de obra perdida producto de los cambios de proyecto en una obra, y no como un resultado exacto.

Sin perjuicio de lo anterior, de los dos métodos teóricos Ibbs y Leonard, se considera que el método de Ibbs entrega una mejor aproximación de la improductividad real, debido a la mayor cantidad y variedad de casos analizados para el diseño de su modelo matemático y porque introduce el concepto de temporalidad de los cambios.

Por lo tanto, los métodos propuestos para su utilización en la industria nacional son los siguientes:

- Milla medida: cuando se dispone de los registros periódicos de productividad de las partidas ejecutadas en obra y de registros de las situaciones originadas por el mandante que afectaron el desarrollo de la obra (análisis causa-efecto).
- El método de Ibbs: cuando se tienen la información de la mano de obra presupuestada y real utilizada en la obra y el registro de las notas de cambio ejecutadas por el contratista. En este caso se debe utilizar otros métodos complementarios para validar el resultado referencial obtenido con Ibbs, los que pueden ser:
  - Costo total
  - Costo total modificado
  - Valor Ganado

Como conclusión general del presente estudio se tiene lo siguiente:

1. El modo más directo para demostrar la existencia de pérdidas de productividad laboral en una obra de construcción es llevando un registro periódico de la productividad de todas sus partidas o por lo menos, de las más incidentes desde el punto de vista de su costo o de su impacto en la ruta crítica.
2. Comúnmente en las obras de construcción en Chile, no existe una preocupación por llevar registros continuos de información tan relevante como el avance de la obra, la productividad laboral de las distintas partidas y la asistencia diaria de personal directo de la constructora y de subcontratos. La causa más probable es que esto puede significar una mayor carga de trabajo para el personal administrativo de la obra, o derechamente la necesidad de ampliar su dotación, lo que aumentaría los Gastos Generales de la obra.
3. Este mayor gasto sería ampliamente compensado al momento de poder demostrar, mediante los métodos propuestos anteriormente, la disminución del rendimiento de la mano de obra, y el consiguiente aumento de la cantidad de personal para cumplir con los plazos comprometidos debido a los múltiples cambios en los proyectos, u otros hechos originados por el mandante. Lo que le permitirá al contratista reclamar al mandante los mayores gastos incurridos por su responsabilidad.

## **CAPÍTULO 6 – BIBLIOGRAFÍA**

AACE (2004). Estimating Lost Labor Productivity in Construction Claims, AACE International Recommended Practice No. 25R-03. Recuperado desde: [http://www.aacei.org/toc/toc\\_25R-03.pdf](http://www.aacei.org/toc/toc_25R-03.pdf).

Alba, J (s.f.) Método del Valor Ganado (Earned Value Management - EVM). Recuperado de: [johnalba@ppctotal.com](mailto:johnalba@ppctotal.com)

Botero, F (2004) Guía de mejoramiento continuo para la productividad en la construcción de proyectos de vivienda (Lean Construction como estrategia de mejoramiento) Revista Universidad EAFIT.40 (136). Recuperado desde: [http://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/revista-universidad\\_eafit/article/download/864/770](http://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/revista-universidad_eafit/article/download/864/770).

Hanna, Lotfallah and Lee (2002). Statistical-Fuzzy Approach to Quantify Cumulative Impact of Change Orders. Journal of Computing in Civil Engineering. 16(4). Recuperado desde: [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)0887-3801\(2002\)16:4\(252\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0887-3801(2002)16:4(252))

The Holloway Consulting Group (s,f) The Measured Mile. Recuperado de: <http://www.disputesinconstruction.com/measured-mile-construction-labor-productivity/>

Ibbs, W (2012). Measured-Mile Principle, Journal of Legal Affairs and Dispute Resolution in Engineering and Construction. ©ASCE. 4(2). Recuperado desde: [http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/\(ASCE\)LA.1943-4170.0000087](http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/(ASCE)LA.1943-4170.0000087).

Ibbs and Liu (2005). Improved Measured Mile Analysis Technique. Journal of Construction Engineering and Management. 131(12). Recuperado de: [http://www.ce.berkeley.edu/~ibbs/BRICS/Materials/Ibbs\\_Liu\\_JCEM\\_2005.pdf](http://www.ce.berkeley.edu/~ibbs/BRICS/Materials/Ibbs_Liu_JCEM_2005.pdf).

Ibbs, W and McEniry ,G (2008). Evaluating the Cumulative Impact of Changes on Labor Productivity —an Evolving Discussion. Cost Engineering, The AACE ® International Journal 50(12). Recuperado desde: <http://www.aacei.org/>.

Jones, R (2001) Lost Productivity: Claims for the Cumulative Impact of Multiple Change Orders. Public Contract Law Journal. 31 (1). Recuperado desde: <http://www.foxrothschild.com/publications/lost-productivity-claims-for-the-cumulative-impact-of-multiple-change-orders/>

Jones, R (2003). Update on Proving and Pricing Inefficiency Claims. Articles The Construction Lawyer. Fox Rothschild LLP. Recuperado de: <http://www.foxrothschild.com/publications/update-on-proving-and-pricing-inefficiency-claims/>

Leonard, Ch (1988) The Effects Of Change Orders on Productivity. Canada: Tesis for the Degree of Master of Engineering (Building), Concordia University. Recuperado de: <http://spectrum.library.concordia.ca/5043/1/ML49088.pdf>

Long and Carter (2013) Cumulative Impact Claims, Copyrigh © 2013, Long International Inc. Recuperado de: <http://www.long-intl.com/articles.php>

MCAA ( 2011) Factors Affecting Labor Productivity. Bulletin N° PD2 Reviced. MCAA Mechanical Contractors Association of America, Inc. Recuperado desde: <http://www.weblem.org/upload/PD2%20Factors%20Affecting%20Labor%20Productivity.pdf>.

McEniry, G. (2007). The Cumulative Effect of Change Orders on Labour Productivity – the Leonard Study “Reloaded”. The Revay Report. 26 (1). Recuperado desde: <http://www.revay.com/>

Monzón, R.(2009). Estimación de pérdidas de productividad laboral en compensación de costos en un proyecto de construcción de la provincia de Llanquihue. Valdivia: Tesis, Universidad Austral de Chile.



Moselhi, Assem and El-Rayes (2005). Change orders Impact on Labor Productivity. Journal of Construction Engineering and Management © ASCE. 131(3). Recuperado desde: [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2005\)131:3\(354\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2005)131:3(354)).

Nelson (2011). The Analysis and Valuation of Disruption. Recuperado de: <https://www.hillintl.com/PDFs/The%20Analysis%20and%20Valuation%20of%20Disruption%20-%20Derek%20Nelson.pdf>

Nguyen and Ibbs (2010) Case Law Variations in Cumulative Impact Productivity Claims. Journal of Construction Engineering and Management © ASCE. 16 (8). Recuperado de: [http://www.ce.berkeley.edu/~ibbs/BRICS/Materials/Nguyen%20&%20Ibbs\\_Cumulative%20Impact%20Case%20Law.pdf](http://www.ce.berkeley.edu/~ibbs/BRICS/Materials/Nguyen%20&%20Ibbs_Cumulative%20Impact%20Case%20Law.pdf)

Project Management Institute, Guía de los Fundamentos para la Dirección de Proyectos (Guía del PMBOK®), Cuarta edición, 2008.

Schwartzkopf, W. (2004). Calculating Lost Labor Productivity in Construction Claims (Segunda Edición). EEUU. Aspen Publishers.

Serpell, A (1986). Productividad en la Construcción. Revista de Ingeniería en la Construcción 1(1), página 53 a la 59. Recuperado desde: <http://www.ricuc.cl/>

Serpell, A. (1997). Administración de Operaciones de Construcción (segunda edición). Santiago, Chile. Ediciones Universidad Católica de Chile.

Serpell y Peralta (1991). Características de la Industria de la Construcción. Revista Ingeniería de Construcción, 11(1). Recuperado desde: [www.ricuc.cl](http://www.ricuc.cl).

Vera, M. E. (2007). Identificación de los elementos que producen las controversias en contratos de la industria de la construcción y proposición de acciones preventivas. Santiago: Tesis, Universidad de Chile.