



*DESPERDICIO DE MATERIALES EN OBRAS DE
CONSTRUCCION CIVIL:
METODOS DE MEDICION Y CONTROL*

Tesis para optar por el Título de Ingeniero Civil que presenta el bachiller:

Marco Paulo Galarza Meza

ASESOR: Ing. Pablo Orihuela

Lima, Julio del 2011

RESUMEN

La gran competitividad que existe en la actualidad en el rubro de la construcción civil obliga a las empresas pertenecientes a esta industria a buscar optimizar al máximo sus procesos, logrando la mayor productividad posible en el uso de sus recursos. En la actualidad uno de los recursos más controlados por los responsables de los proyectos es la mano de obra, existe una gran cantidad de herramientas y metodologías difundidas con la finalidad de mejorar la productividad de este recurso (cartas balance, medición de nivel general de actividad, etc.), sin embargo, se deja de lado la oportunidad de mejorar la eficiencia en el uso de otros recursos como son los materiales, equipos o subcontratos.

Los materiales pueden llegar a representar cerca del 30% del costo de un proyecto y sin embargo, en muchos casos las empresas solo realizan verificaciones mensuales del estado de sus consumos de materiales para las partidas de control, las cuales están a cargo de los jefes de almacén quienes le dedican poco o nulo análisis al tema de la productividad de los recursos. El presente trabajo presenta la realidad de los consumos de materiales en dos obras de edificación peruanas, relacionando los principales datos encontrados a estudios realizados al respecto en otros países como el Reino Unido, Estados Unidos o Brazil y desarrolla todo el proceso de mejora de productividad desde la recopilación de datos, análisis de la información, pasando por las posibles intervenciones para mejorar los procesos hasta la verificación final de los mismos.

Esta investigación se centra en dos objetivos principales, reducción del costo de consumo de los materiales y reducción de los residuos sólidos de construcción generados por las obras, para esto se tomo la decisión de llevar el control de materiales significativos por el costo que representan para el proyecto (acero y concreto) y los que involucran una gran generación de desmonte (mortero, albañilería). Para los materiales seleccionados se establecen controles de consumo y se analizan las tendencias de los indicadores conforme los encargados del proyecto van tomando medidas de mejora, modificando procesos o tecnologías. Paralelamente se mantiene un indicador de la generación de residuos sólidos por parte de la obra el cual también se va alterando conforme los ingenieros encargados marcan los lineamientos del proyecto al respecto. Todas estas mediciones y controles se efectuaron a lo largo de los proyectos y se llegaron a incorporar al sistema de gestión de la obra, generando beneficios reconocidos por la empresa constructora encargada de la ejecución.

~i~



A mis padres:

Danilo y Martha, por su continuo ejemplo

De dedicación al trabajo,

Honestidad y amor por la familia.

CONTENIDO DE LA TESIS

Resumen	i
Tema de Tesis Aprobado	ii
Dedicatoria	iii
Contenido	iv
	Pág
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	1
1.1.MEJORA DE PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS	2
1.2.DISMINUCION DEL IMPACTO AMBIENTAL.....	3
1.3.MEJORA DE LA PRODUCTIVIDAD	4
CAPÍTULO 2: CONCEPTOS GENERALES	7
2.1.CONCEPTO DE DESPERDICIO DE MATERIALES	8
2.2.CLASIFICACION DEL DESPERDICIO DE MATERIALES.....	9
2.3 PRINCIPALES CAUSAS DE LOS DESPERDICIO DE MATERIALES	15
CAPITULO 3: ANTECEDENTES	21
3.1.ESTUDIOS ANTERIORES	22
3.1.1 SKOYLES (1976); SKOYLES (1978); SKOYLES & SKOYLES (1987)	22

3.1.2 PINTO (1989)	25
3.1.3 PICCHI (1993).....	26
3.1.4 SOIBELMAN (1993).....	28
3.1.5 UNIVERSIDAD POLITECNICA DE HONG KONG (1993)	31
3.1.6 SANTOS (1995)	32
3.1.7 ENSHASSI (1996).....	33
3.2 PRINCIPALES CONCLUSIONES	33
<i>CAPITULO 4: METODOLOGIA</i>	35
4.1 ALCANCE.....	36
4.2 IDENTIFICACION	40
4.3 EVALUACION	47
4.4 INTERVENCION	54
4.5 CONTROL.....	61
<i>CAPITULO 5: CONCLUSIONES</i>	77
5.1 CONCLUSIONES GENERALES	78
5.1 RECOMENDACIONES PARA FUTURAS LINEAS DE INVESTIGACION	81
<i>BLOGRAFIA</i>	82



CAPITULO 1

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo se desarrolla bajo el contexto de una industria de la construcción creciente y con buenos auspicios para los años venideros, con proyectos de gran envergadura desarrollándose en el país, tanto privados como públicos (Tren eléctrico línea 1, Hotel Westin-Libertador, Gran teatro nacional) y muchas más obras de similar condición en cartera, además de una importante demanda de vivienda insatisfecha, el sector parece proyectar un crecimiento significativo y las empresas necesitan prepararse para aprovechar esta oportunidad, potenciando sus procesos y desarrollando sus modelos de gestión.

La presente tesis pretende apoyar este proceso de mejora de las empresas desarrollando una investigación realizada respecto a los consumos de materiales en la industria de la construcción y la mejora de la productividad de este recurso, a continuación se presentan los motivos que incentivaron a autor a desarrollar este trabajo.

1.1 MEJORA DE PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS:

La construcción es una industria que genera por naturaleza productos únicos, así mismo las condiciones de trabajo para la fabricación de cada producto varían constantemente, pese a esto los procesos constructivos en el Perú son en su mayoría tradicionales y repetitivos, debido a que el proceso de aprendizaje, a nivel obrero, es empírico y los conocimientos se transmiten oralmente desde los trabajadores con mayor experiencia hacia los nuevos.

Por otro lado, los profesionales encargados de las obras, muchas veces no cuentan con el tiempo ni los recursos necesarios para revisar el diseño de todos los procesos o evaluar su funcionamiento en detalle y muy por el contrario terminan aceptando el método tradicional, sin considerar que podría estar equivocado o que podría mejorarse. Este defecto es reconocido como una de las principales causas de pérdidas en la construcción¹.

Estas dificultades para desarrollar un estudio detallado de todos los procesos que hay en una obra de construcción, se pueden superar mediante el uso de indicadores adecuados que permitan identificar cuáles son los procesos ineficientes, o que están teniendo un mal funcionamiento, con la finalidad de estudiarlos con mayor atención.

Una manera de lograr esta identificación es mediante el control de las pérdidas o desperdicios de materiales. Analizando los indicadores de consumo de material (Unidad de almacenamiento/Unidad de metrado) se pueden determinar qué partidas cuentan con índices de consumos muy altos, muy bajos o irregulares entre una semana y otra.

Así mismo, la inspección visual del material eliminado semanalmente y los indicadores de cantidad de desmonte producido en la obra (m³ eliminados/m² techado) también ayudaran a encontrar fallas en los procesos que generan gran cantidad de residuos.

Una vez identificada la oportunidad de mejora en un proceso constructivo, el control continuo de estos indicadores puede servir además para medir el impacto positivo o negativo de las modificaciones efectuadas en los procedimientos.

¹ Ghio, VIRGILIO. "Productividad en Obras de Construcción Civil: Diagnostico, Critica y Propuesta "(2001)

1.2 DISMINUCION DEL IMPACTO AMBIENTAL:

No cabe duda que el sector construcción ha experimentado un crecimiento significativo en los últimos años. Esta realidad trae consigo grandes beneficios para el país tales como la generación de empleo, el incremento de la producción de empresas proveedoras, mejora de la infraestructura, disminución de precios debido al aumento de la competencia, etc. Sin embargo, la construcción también trae consigo efectos negativos para el medio que la rodea, uno de los más perjudiciales es el impacto que tiene sobre el medio ambiente.

El gran consumo de recursos naturales, la generación de ruido, vibraciones, polvo, olores, etc. Son algunas de las consecuencias provenientes de la actividad de la construcción. Sin embargo, uno de los problemas más graves es tal vez la generación de gran cantidad de residuos sólidos, los cuales en su mayoría no cuentan con un destino final adecuado y/o certificado.

De acuerdo a un informe presentado por el ministerio del medio ambiente², el índice de residuos sólidos producidos en el país se incrementó de 0.711Kg/hab/día en el año 2001 a 1.08Kg/hab/día en el 2007, es decir en un 52%. El 5% de estos desperdicios corresponde a residuos sólidos de construcción (RSC), los cuales en el año 2007 ascendieron a 404,564 Ton.

El incremento de los residuos sólidos de construcción es una realidad, que continuara ocurriendo a menos que las empresas constructoras tomen medidas para su control. Entre las medidas necesarias para disminuir el problema se encuentra el control de los desperdicios de materiales.

Es fundamental, en primer lugar que las empresas reconozcan y hagan seguimiento a la cantidad de desmonte que generan por cada obra ejecutada. Posteriormente se debe identificar los principales materiales que son eliminados de la obra para estudiar las causas de su generación, y las posibles consecuencias que puede tener sobre el medio ambiente. Finalmente deben estudiarse alternativas adecuadas a nuestra realidad para reducir, reusar o reciclar estos desperdicios.

² VICEMINISTERIO DE GESTION AMBIENTAL. "Informe de la Situación Actual de Gestión de Residuos Municipales"(2008)

Reducir la cantidad de material utilizado en obra no implica necesariamente colocar menos material que lo necesario o especificado para el proyecto, por el contrario, se refiere a no comprar material en exceso que a la larga podría terminar siendo eliminado debido a un mal uso, a que se dañe por exceso de manipulación, que se pierda, etc.

Reusar implica volver a utilizar material que ya fue empleado de alguna manera en la obra, aprovechando su potencial con un mínimo proceso de recuperación de por medio.

Reciclar, por último es considerado comúnmente la manera más costosa y complicada de reducir los desperdicios sólidos, debido a que se necesita un proceso industrializado para poder convertir los residuos en productos útiles. Sin embargo, existen ejemplos países en donde la cultura del reciclaje se ha difundido a tal punto que se ha convertido en un negocio rentable mediante la venta de productos fabricados a partir de la basura. Uno de los países más avanzados en cuanto a reciclaje de RSC es Holanda, donde se recupera el 85% de los residuos generados en las obras, esto debido a los altos costos de disposición final de desperdicios (\$200/Ton), la sensibilización de la sociedad y las políticas estrictas de cuidado al medio ambiente³.

Aplicando estos tres principios contribuiremos a mejorar la relación entre la industria de la construcción y el medio ambiente, reduciendo los riesgos para la salud de la población, incrementando la calidad de vida, dándole un mayor valor a los recursos naturales y mejorando además la imagen de las compañías constructoras frente a la población.

1.3 MEJORA DE LA PRODUCTIVIDAD:

Durante los últimos años, el aumento de la actividad en el sector construcción ha propiciado la aparición de nuevas empresas constructoras tanto nacionales como extranjeras, frente a este incremento de la competencia los contratistas deberían buscar disminuir sus costos de operación así como el abaratamiento de sus procesos constructivos para así volverse más competitivos en el mercado. Una de las maneras de conseguir este objetivo es mejorar la productividad de las partidas que tienen un mayor impacto en el costo final del proyecto.

³ VALDIVIA, Sonia "Instrumentos de gestión ambiental para el sector construcción (2009)

La productividad se define como el cociente entre la producción total y la suma de los recursos utilizados para lograr dicha producción (mano de obra, equipos, materiales, etc.). Según investigaciones realizadas en Brasil⁴, una obra de edificación promedio desperdicia el 30% de los recursos invertidos en ella, debido a fallas de calidad, retrabajos, errores en los procesos, diseños ineficientes, etc. Es decir, el margen existente en la actualidad para optimizar la productividad de los procesos constructivos es significativo y debe ser aprovechado.

En nuestro país se han estudiado y difundido muchas herramientas que tienen como finalidad medir, controlar y evaluar la productividad de la mano de obra (informes de productividad, cartas balance, niveles generales de actividad, first run studies, etc.), Del mismo modo se han realizado investigaciones y diagnósticos sobre el tema¹, Sin embargo, existe poca información disponible en nuestro medio sobre el control de los materiales, pese a que representan una parte importante del costo directo de las obras como lo muestra el siguiente cuadro:

Tabla 1. Incidencia de Los Recursos en las Obras

Estructura del Costo	% Incidencia
Mano de Obra	22%
Materiales	28%
Equipos	22%
Subcontratas	16%
Costos Indirectos	12%
Total	100%
GG Oficina Principal	5%
Utilidad Bruta	12%
Venta Total	117%

Este cuadro fue presentado en julio del año 2007 por Manuel Wu, encargado de compras de una de las empresas constructoras más reconocidas del país, durante la semana de Inducción #12 del programa de formación de ingenieros jóvenes, Se tomaron como referencia las obras ejecutadas por la empresa durante el 2007.

⁴ PICCHI, F.A "Sistema de Calidad: Uso en empresas constructoras de edificios" (1993)

En él se aprecia que la principal incidencia en el valor final de las obras está dada por del costo de los materiales (28%), superando incluso a la mano de obra (22%). Es decir, los materiales como recurso, son igual y en muchas ocasiones más valiosos que la mano de obra por lo que es necesario mantener un control estricto sobre su uso en obra.

Además existe una consideración muy importante a tener en cuenta cuando se trata de mejorar la productividad de los materiales, el desperdicio de un recurso generalmente viene acompañado del consecuente desperdicio de otros recursos asociados, es decir, si se está colocando mayor material del necesario en un tarrajeo de muro se debe considerar que además de desperdiciar materiales como el cemento o la arena también se están gastando horas hombre, herramientas y equipos para preparar la mezcla; Corregir la baja productividad del material contribuirá a la eliminación de trabajos innecesarios que consumen recursos de todo tipo.

El primer paso para lograr una mejora en la productividad de los materiales es la identificación de las partidas más incidentes en el presupuesto de obra, de esta manera las mejoras realizadas tendrán un impacto más significativo. Así mismo hay que determinar las causas raíz del desperdicio y la etapa del proceso en que ocurre. Para obtener esta información se pueden utilizar herramientas como el diagrama de pareto, diagramas de flujo de materiales y diagramas causa efecto, etc.

Luego se debe establecer un sistema de medición, el cual permita determinar en qué partidas se están produciendo consumos irregulares de material o que partidas están generando residuos significativos innecesariamente. *“En principio, debemos tener claro que todo lo que se puede medir, se puede mejorar. Mientras que no podemos medir nuestras ineficiencias, mal vamos a poder eliminarlas” (Ghio 2001).* Las mediciones pueden realizarse mediante formatos de campo, muestreos o recopilación de información de fuentes confiable.

Posteriormente se realiza una evaluación de los resultados para determinar cuáles son los aspectos en los que se debe intervenir con la finalidad de optimizar el uso de los recursos. Para este ejercicio es importante la participación de todas las personas involucradas en el tema (ingeniero de campo, encargados de almacén, residente de obra).

Finalmente se debe mantener un continuo control sobre el consumo de materiales en relación al avance diario para observar cómo se comporta la tendencia luego de implementar medidas atenuadoras de desperdicio o cuando hay otros factores que afectan la producción.



CAPITULO 2

CONCEPTOS GENERALES

Este capítulo presenta al lector la teoría básica de desperdicio de materiales, recolectada a partir de la experiencia de diversos autores, con la finalidad de generar una base teórica importante para el mejor entendimiento del presente trabajo de investigación y de los utilizados como referencia.

La información presentada a continuación se ha obtenido mediante la recopilación de trabajos realizados en distintas partes del mundo y el aporte de la información que se pudo obtener de las experiencias nacionales mostradas en este trabajo.

2.1 CONCEPTO DE DESPERDICIO DE MATERIALES

El concepto de desperdicio en general es similar para diversos autores, Ghio (2001) lo define como *“Toda aquella actividad que tiene un costo pero que no le agrega valor al producto final”*. Por su parte, Formoso (1996) amplía el concepto indicando que se refiere a *“Toda ineficiencia que se refleja en el uso de equipos, mano de obra y materiales en cantidades mayores a aquellas necesarias para la construcción de una edificación”*.

Paliari (1999), sin embargo, plantea una interrogante válida, la cual se debe discutir antes de establecer un concepto definitivo de desperdicio. Este autor sostiene que las pérdidas son un concepto relativo ya que se debe determinar en primer lugar una situación de referencia. Es decir definir, para cada realidad un rendimiento estimado o aceptable de los recursos, considerando así como desperdicio a todo lo que supere este límite.

Para estimar el desperdicio de materiales se utilizan normalmente los consumos promedio del sector como situación de referencia, sin embargo, este criterio no es la ideal ya que cada obra tiene características propias (tecnología, tipo de mano de obra, procedimientos, etc.) que requieren estimaciones más precisas para un control adecuado, también pueden utilizarse los consumos promedio de edificaciones similares o los consumos establecidos en normas técnicas (cuando existan).

Este planteamiento se opone a definiciones como la de Melinghender (1976) quien por el contrario sostiene que los desperdicios son *“todo aquello que diferencia a la obra ejecutada de la obra perfecta”* o la de Conwat Quality quien plantea que son *“La diferencia entre las formas como las cosas se hacen ahora y la forma como podrían ser hechas si todo fuera perfecto.”*

Considerando ambas posturas podría comenzar a plantearse una definición final para el desperdicio de los materiales. Definitivamente es necesario considerar las características particulares de cada proyecto y de cada etapa del mismo al analizar los desperdicios (circunstancias, procedimientos constructivos, equipos, calidad de la mano de obra, etc.), no es lo mismo por ejemplo, el desperdicio de concreto que se puede tener vaceando una cimentación que el que se obtiene vaceando elementos verticales.

Por otro lado, es fundamental también realizar el contraste con la situación ideal, de esta manera se puede mantener el control de la brecha que existe entre lo real y lo perfecto, lo que contribuye al análisis de las causas de estos desperdicios. Sin embargo, no en todas las partidas se puede definir una situación ideal fácilmente.

Tal es el caso del cemento para tarrajeo de muros, para realizar esta actividad existen diversas proporciones de mezcla arena:cemento (4:1, 5:1, 6:1), cuando la fórmula no ha sido definida dentro de las especificaciones del proyecto se utiliza el criterio de los encargados de obra, quienes basados en sus propias experiencias personales establecen la proporción adecuada como consumo estándar. En partidas como el vaciado de concreto en cambio, queda claro por razones geométricas, que la situación perfecta se dará cuando se consuma 1m^3 de concreto por cada m^3 que haya que llenar con mezcla.

La respuesta adecuada en estos casos debe estar en los documentos técnicos (especificaciones, planos, memorias descriptivas). Con el apoyo de esta información se debe determinar la cantidad necesaria de material que se debe utilizar para lograr la fabricación del producto final de acuerdo a los estándares de calidad requeridos por el cliente. En caso no se encuentre la información necesaria en los documentos técnicos quedará a criterio del equipo de obra determinar los consumos ideales en base a su experiencia.

Tomando en cuenta todo lo expuesto anteriormente, esta tesis considerará como desperdicio de materiales a ***todo consumo de recurso material en cantidades mayores a las necesarias para la elaboración de un producto de construcción de acuerdo a las especificaciones reflejadas en los documentos técnicos o a los criterios establecidos por los encargados de obra.***

2.2 CLASIFICACION DEL DESPERDICIO DE MATERIALES

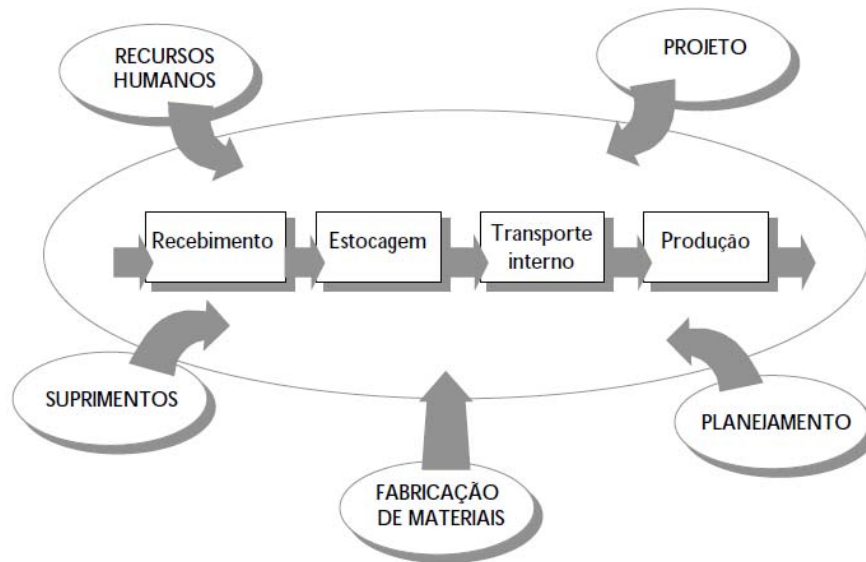
Los desperdicios tienen una serie de características significativas que pueden determinar la forma en que se les clasifica. El método de clasificación más difundido es el utilizado por la empresa TOYOTA, dentro del marco de su sistema de producción, el cual se basa en la eliminación total de las pérdidas ocurridas durante el flujo del proceso productivo. A continuación se detallan los 7 tipos de desperdicio señalados por esta teoría según lo presenta Pires (1998):

- a) Pérdidas por superproducción: Se refiere a los desperdicios de recursos generados por la fabricación de productos en mayor cantidad a la necesaria.
- b) Pérdidas por transporte: Se hace referencia a los gastos innecesarios en los que se incurre al transportar recursos de una ubicación a otra ya que esta actividad no agrega ningún valor al producto final, por lo que se recomienda disminuirla al máximo.
- c) Pérdidas por almacenamiento: Son los costos en los que se incurre por ocupar el espacio de almacenamiento y el riesgo de pérdida o destrucción del material almacenado.
- d) Pérdidas por movimiento: Se refiere a los movimientos innecesarios realizados por los trabajadores durante la ejecución de sus labores.
- e) Pérdidas por espera: Está compuesto por aquellos periodos de tiempo en los cuales los recursos generan gasto pero no están siendo utilizados debido a diferentes motivos.
- f) Pérdidas por productos defectuosos: Son los costos adicionales en los que se incurre cuando un producto no ha sido fabricado de acuerdo a las características de calidad solicitadas por el proyecto.
- g) Pérdidas del propio proceso: Se refiere a actividades que no son necesarias para lograr el producto final según las especificaciones solicitadas y que están incluidas dentro del proceso mismo.

Todos los tipos de pérdidas mencionados han sido determinados considerando los desperdicios que se pueden encontrar en un proceso industrializado típico, sin embargo es necesario encontrar una mejor aproximación a la industria de la construcción por ser un sector con características muy particulares en el uso de sus recursos (layouts variables, distintos proveedores entre proyectos, procesos poco industrializados, etc.).

Así por ejemplo, Formoso et Al, clasifican a los desperdicios considerando la etapa del proceso en que se ocasiona la pérdida (Recepción, almacenamiento, transporte interno y producción) y el origen de la misma (Proyecto, Recursos Humanos, Proveedores, Fabricación de materiales y Planeamiento), representado por el siguiente gráfico:

Ilustración 1. Factores externos que producen desperdicio



Esta visión de las pérdidas tiene el inconveniente de presentar solo factores externos (proveedores, fabricantes, proyecto, etc.) como posibles causantes de desperdicio, los cuales no pueden ser manipulados con facilidad por los responsables de obra para mejorarlos. Utilizando este tipo de clasificación no se podrían identificar a los agentes de desperdicio que se encuentran dentro del alcance del proyecto.

Skoyles & Skoyles (1987) Plantean una clara e importante división entre dos tipos de desperdicio de materiales. En primer lugar se presenta la pérdida directa, este desperdicio es el más evidente y el más sencillo de diagnosticar, se refiere básicamente a todo el material que es eliminado de la obra como desmonte, el cual se ocasiona cuando existen procesos improductivos que generan residuos excesivos.

Estos residuos son perjudiciales para el proyecto de diversas maneras. Además del costo generado por la compra, almacenamiento, transporte y manipulación de un material que termina siendo eliminado de la obra, se deben considerar los costos adicionales en los que se incurre para la limpieza de la obra y para la disposición final de los desperdicios. Adicionalmente estos residuos contribuyen a la contaminación del medio ambiente, existiendo el peligro de que junto con el desmonte se eliminen materiales con componentes nocivos.

El otro tipo de desperdicio presentado por estos autores es el indirecto, el cual se refiere a todo material que es colocado dentro de la obra sin que esté considerado en los planos o especificaciones técnicas del proyecto. Bajo esta categoría se pueden encontrar a los espesores excesivos de tarrajeo, el uso de materiales de mayor calidad, características distintas o el material que se consume en trabajos que no han sido considerados en la propuesta inicial pero que son necesarios para el desarrollo del proyecto.

Este tipo de desperdicio podría asociarse con un defectuoso control de calidad dentro del proyecto, ya que como se puede apreciar en todos los casos se refiere a utilizar material adicional para esconder fallas en algún producto, o cambiar las características de un material especificado para algún trabajo por otro de calidad superior innecesariamente.

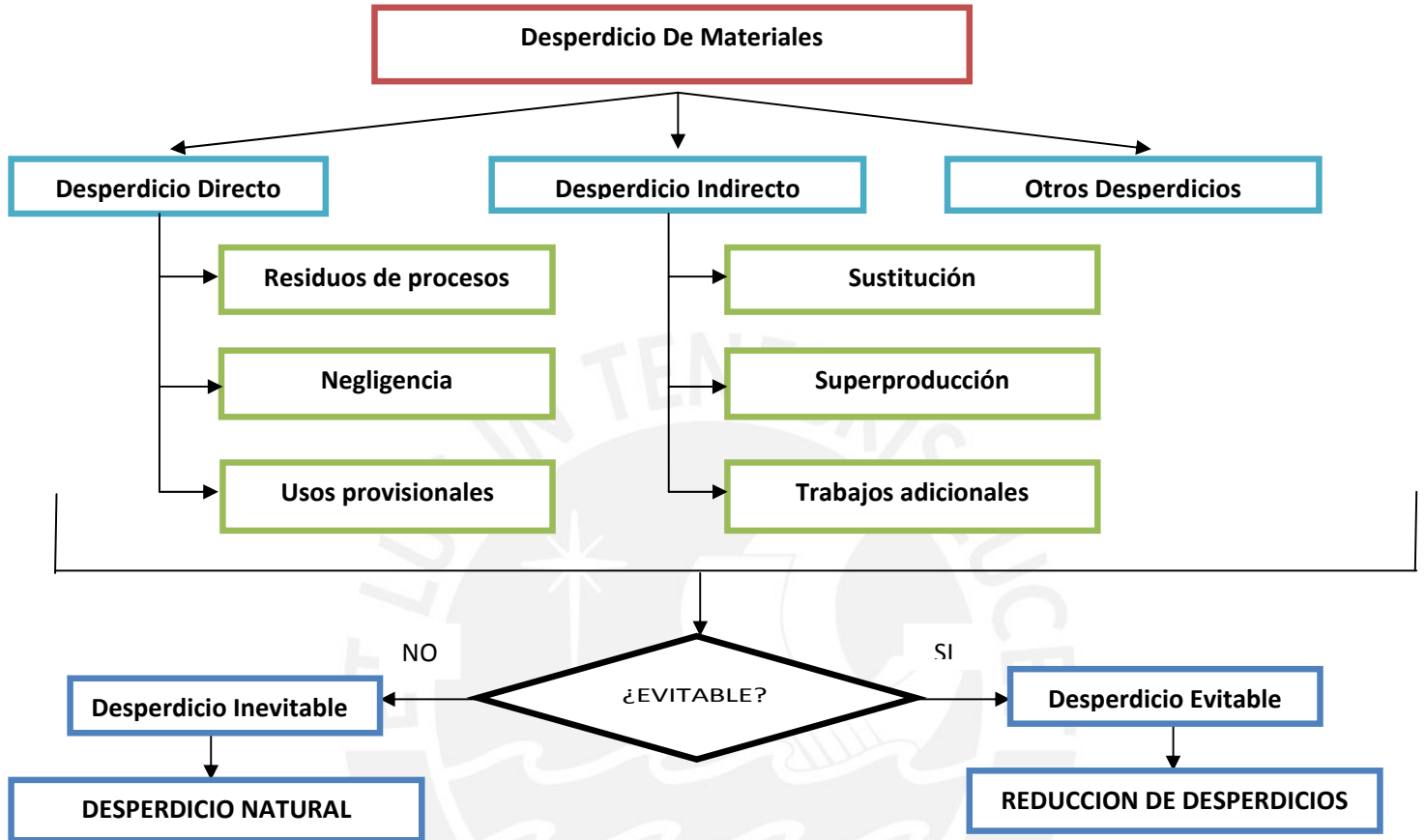
Los mismos autores presentan una alternativa a esta clasificación, plantean paralelamente dividir a los desperdicios en función a la capacidad de las empresas constructoras para minimizarlos, si bien es cierto esta característica es relativa, resulta importante al momento de evaluar la posibilidad de mejorar procesos, los desperdicios entonces pueden conocerse como evitables o no evitables.

Las pérdidas evitables son aquellas cuyo costo de eliminación es menor que el costo de los desperdicios que generan; Las No evitables por otro lado, son aquellas cuyo control generara mayor gasto que el que generan por sí mismas.

Cabe resaltar una vez más que este concepto es muy relativo, un desperdicio no evitable en un proyecto puede ser a su vez evitable en otra obra si es que las circunstancias (tecnología, costo de los materiales, etc.) se modifican.

Como se puede apreciar, todos los autores aportan valiosa información respecto a las características que hay que considerar para elaborar una apropiada clasificación del desperdicio de materiales, en base a estos trabajos y a la experiencia recolectada de la presente investigación se ha elaborado el siguiente esquema:

Ilustración 2. Clasificación de los desperdicios de materiales



Este esquema clasifica a los desperdicio de materiales en tres grandes categorías:

- a) Desperdicio Directo: Son los residuos de materiales que se eliminan de la obra como desmonte.
- b) Desperdicio Indirecto: Son los materiales que se incluyen dentro de la obra sin que este indicado en los documentos técnicos del proyecto.
- c) Otros Desperdicios: Son los causados por motivos extraordinarios como robo, vandalismo, etc.

El desperdicio directo a su vez puede dividirse en tres sub-categorías. La primera categoría se titula *residuos de proceso* y se refiere a todo el material sobrante que generan los procesos constructivos, a manera de ejemplo se pueden mencionar los restos de ladrillo que se producen al cortar las unidades para modular el muro, los saldos de mortero que sobran al final de la jornada porque se preparó excesivo material, etc.

En segundo lugar se tiene a las pérdidas directas por negligencia, este concepto se refiere al material que es desperdiciado debido a malas prácticas en el manejo del mismo, como cemento que se malogra por almacenarlo en zonas húmedas o ladrillos rotos por apilarlos de manera inadecuada.

Finalmente se tiene el material desperdiciado debido a usos provisionales, son todos aquellos materiales que se pierden debido a que no se encuentran cumpliendo las funciones para las que fueron diseñadas, este caso lo reflejan los ladrillos que se usan de cómo bancos, los encofrados que se utilizan como mesa, etc.

El desperdicio Indirecto por su parte, también tiene tres sub-categorías. La primera se denomina desperdicio indirecto por sustitución, ocurre cuando se utiliza un material de mayor calidad en reemplazo de otro, sin sustento técnico. Un ejemplo típico es utilizar acero de ½" en lugar de 3/8" debido a que el material se ha agotado en obra y no se puede esperar a la llegada de una nueva entrega.

También existe el desperdicio indirecto por superproducción, esta situación se da cuando se fabrica un producto final de dimensiones mayores a las solicitadas por los documentos técnicos (tarrajeo de mayor espesor, vaciado de concreto de mayor espesor, malla de acero armada con una separación menor, etc.).

Además hay que considerar a los desperdicios debido a trabajos adicionales. Son consumos de material que se generan debido a actividades que no se consideraron inicialmente en el proyecto pero que sin embargo deben ejecutarse para completar los trabajos solicitados. Dentro de esta categoría se incluyen a los retrabajos, resanes, etc.

Finalmente, es necesario subrayar, tal como indica el gráfico que cualquiera de los desperdicios descritos anteriormente puede ser considerado como desperdicio evitable o no evitable. Si los costos necesarios para eliminarlos son superiores a los costos que generan los desperdicios, en ese caso se les considera no evitables y pasan a ser un desperdicio natural.

Por el contrario, si existen maneras menos costosas de eliminar un desperdicio y la acción correctiva está justificada en comparación con el costo que originan las pérdidas se procede a tomar las medidas necesarias para combatir el problema.

2.3 PRINCIPALES CAUSAS DE LOS DESPERDICIOS DE MATERIALES

Identificar las causas de los desperdicios es fundamental para plantear una estrategia de disminución de los mismos, se debe determinar el problema raíz, para poder analizarlo y plantear la mejor forma de eliminarlo. Existen diversas propuestas y análisis respecto a las posibles causas de los desperdicios, hay que tenerlas en cuenta ya que la recopilación de esta experiencia servirá de mucho cuando haya que analizar los problemas particulares que afecten nuestros proyectos.

En la investigación presentada en su libro “Productividad en obras de construcción *Diagnostico, crítica y propuesta*”, Ghio (2001) presenta una serie de circunstancias que pueden afectar la productividad de las obras:

- a) Cuadrillas sobredimensionadas: Utilizar mayor cantidad de personal que lo necesario produce que no todos los integrantes del equipo trabajen a su máxima capacidad, así mismo conlleva a desinterés en el cuidado de los materiales y equipos.
- b) Falta de supervisión: La falta de control sobre la mano de obra puede traducirse en bajos rendimientos del personal. Así mismo implicaría un mal uso de recursos como materiales y equipos (especialmente cuando han sido subcontratados)
- c) Deficiencias en el flujo de materiales: Produce pérdida de tiempo y falta de control en la cantidad y calidad de materiales que serán trasladados a la zona de trabajo, así mismo se sub-utilizan equipos de forma inadecuado para el traslado de recursos cuando esta operación no ha sido planeada eficientemente.
- d) Mala distribución de instalaciones en obra: Se refiere a los obstáculos que se interponen en el recorrido del personal para el acarreo de material o un layout ineficiente en cuanto a la ubicación de elementos claves como sanitarios, almacén, etc.
- e) Actitud del trabajador: La disposición de los trabajadores para realizar sus tareas es un elemento clave ya que finalmente son ellos los que utilizan los recursos dispuestos en la obra. (tiempo, materiales, equipos)

- f) Falta de manejo en campo: Mala coordinación del trabajo de cuadrillas puede provocar un cruce de actividades de dos equipos distintos, una mala distribución de recursos, ejecución de trabajos no planificados, etc.
- g) Mala calidad: genera fallas que se traducen en retrabajos o correcciones.
- h) Deterioro de trabajos ya realizados: Se consumen recursos para volver a fabricar un producto que ya se encontraba listo, y que fue deteriorado por negligencia.
- i) Cambios en los diseños: Si es que no se informan con un plazo significativo no permiten un buen planeamiento para su ejecución, lo que ocasiona pérdida por un mal manejo de los recursos. Puede ser además que la nueva información no esté completa.
- j) Falta de programación y control en el uso de los equipos: Esto produce un mal uso de los recursos priorizando en muchos casos ciertas actividades en lugar de beneficiar al flujo de todo el proceso.
- k) Trabajos lentos: Generados en su mayoría debido a una excesiva manipulación de equipos y materiales, así como demoras producidas por los propios trabajadores.
- l) Falta de diseño de los procesos constructivos: Debido a las diferentes circunstancias que se dan entre las distintas obras que no son consideradas antes de iniciar los trabajos.

Las causas descritas anteriormente brindan lineamientos generales para comenzar a analizar la verdadera raíz del desperdicio de materiales. Otros autores han analizado en detalle, cuáles pueden ser los motivos que ocasionan pérdida de materiales para los recursos más valiosos utilizados en obra.

- a) Concreto premezclado: Soibelman (1993) propone cuatro posibles causas de desperdicio para este material. En primer lugar se menciona a la diferencia entre la cantidad entregada y la solicitada, esta situación se da por fallas en los sistemas de calidad de los proveedores lo que podría ser imperceptible si es que no se mantiene un seguimiento adecuado de la cantidad de concreto que se ha entregado efectivamente en obra.

Otra causa significativa encontrada por el autor es el uso de equipos en mal estado (bombas, encofrados, tuberías) que facilitan la filtración de material, así mismo se señala a los pedidos excesivos como un motivo importante de pérdida de material, en su propia investigación sobre desperdicio de materiales Formoso detecto índices de desperdicio de hasta 25% en algunos casos debido a este motivo.

Finalmente ambos autores coinciden en que otra causa fundamental es el espesor excesivo de los elementos estructurales debido a la falta de control durante la colocación de puntos de referencia o a un mal trabajo en la colocación del encofrado. En el estudio mencionado anteriormente Formoso encontró en una de las obras analizadas espesores de losa hasta 15% mayores a las especificadas en los planos del proyecto.

- b) Mortero: Ambos autores coinciden en que las causas principales de desperdicio del mortero son la colocación de capas de mayor espesor al especificado en el proyecto en los revestimientos de muro, cielo raso, en el asentamiento de ladrillo, etc. Además del material utilizado para reparar irregularidades, modificaciones o retrabajos los cuales son muy comunes en labores de albañilería.
- c) Ladrillos: En este caso también hay consenso sobre las posibles causas de desperdicio de materiales, por un lado se encuentran las deficientes condiciones de recepción y almacenamiento y por el otro el corte de las unidades de ladrillo para obtener medios o un tercio de pieza debido a la poca o nula modulación de los muros de albañilería.

En el primer caso Formoso determinó, en base a la medición realizada en una obra, que el desperdicio era aproximadamente del 8.5% y en cuanto al corte de unidades la pérdida era del 5.6%.

- d) Cemento: Ya que el cemento es un componente fundamental del mortero valen las observaciones indicadas para este material. Adicionalmente se considera como causa importante de desperdicio las malas condiciones de almacenamiento del material.
- e) Acero: Finalmente esta el acero, para el cual se establece como principal motivo de desperdicio el corte de las varillas para la fabricación de las piezas de acuerdo a las dimensiones establecidas en el proyecto.

La universidad Politécnica de Hong Kong por su parte, desarrolló un estudio cuantitativo sobre las principales causas del desperdicio de materiales mediante el análisis de 32 obras, en las cuales mantuvo estudiantes asignados en permanente observación, luego de compilar la información levantada se obtuvo el siguiente cuadro resumen:

Tabla 1. Causas de los desperdicios de materiales

Causas	Concreto premezclado (%)	Acero (%)	Yeso/Cemento (%)	Ladrillos (%)	Cerámicas (%)
Pedidos en Exceso	51.2	-	-	14.6	10.7
Pérdidas durante el vaciado	22.0	-	-	-	-
Fisuras de encofrado	8.4	-	-	-	-
Trabajos temporales	7.8	-	-	-	-
Retrabajos	5.2	3.5	-	-	-
Pérdidas en corte	-	87.1	-	39.6	40.0
Pérdidas por nivel de abastecimiento	-	4.4	-	11.1	29.3
Corrosión	-	4.1	-	-	-
Producción excesiva	-	-	58.8	-	-
Pérdidas durante la aplicación	-	-	19.4	-	-
Almacenamiento	-	-	11.2	-	-
Pérdidas durante asentamiento	-	-	-	18.9	-
Pérdidas durante el transporte	-	-	-	15.8	-
Cambios en el proyecto	-	-	-	-	12.9
Otros	5.4	0.9	10.6	-	7.1
Total	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

Como se puede apreciar, los porcentajes no coinciden necesariamente con algunos de los propuestos por Soibelman y Formoso. Esto se debe a las características particulares de cada obra, empresa y tecnología constructiva que se puede utilizar, las cuales varían de proyecto en proyecto. Sin embargo cabe resaltar que las causas identificadas sí son similares a las mencionadas por los autores anteriores, es decir, sin importar el tipo de proyecto o localización de la obra estos son los problemas principales sobre los que se debería mantener un estricto control para lograr un nivel de desperdicio bajo.

A continuación se presenta un cuadro desarrollado en base a la información obtenida de la investigación de los autores mencionados y a la experiencia de este trabajo, en donde se clasifican las principales causas de pérdidas según los tipos de desperdicio de materiales que han sido identificados anteriormente.

Tabla 2. Identificación y clasificación de desperdicio de materiales (Pérdida Directa)

DESPERDICIO DE MATERIALES			
DESPERDICIO DIRECTO			
MATERIALES	RESIDUOS DE PROCESOS	NEGLIGENCIA	USOS PROVISIONALES
CONCRETO PREMEZCLADO	Residuos en tuberías, bomba, mixer, etc.	Pedidos en exceso	Vaciado de piso para obras provisionales
		Perdida de material por filtraciones o derrames durante el movimiento de bomba o tubería.	
		Perdida de material debido a demolición por falta de calidad o cambios en el proyecto	
		Perdida de material debido a excesivo tiempo de espera del concreto	
ACERO	Corte de Varillas ineficiente	Perdida de varillas por mal almacenamiento	Uso para estacas, caballetes, arriostres, etc.
MORTERO	Restos de mortero que cae al piso en los tarrajes y asentado de ladrillo	Producción excesiva	
	Mortero sobrante al final del día	Mala dosificación	

Tabla 3. Identificación y clasificación de desperdicio de materiales (Perdida Directa-Continuación)

DESPERDICIO DE MATERIALES			
DESPERDICIO DIRECTO			
MATERIALES	RESIDUOS DE PROCESOS	NEGLIGENCIA	USOS PROVISIONALES
LADRILLOS	Corte de unidades	Rotura de unidades	Usos inadecuados (apoyos, asientos)
		Eliminación por desorden	
		Pedidos en exceso	
AGREGADOS*	Restos en cambios de ubicación	Falta de confinamiento en almacenamiento	
		Mala dosificación	
CEMENTO*		Almacenamiento deficiente de las bolsas	
		Mala dosificación	
ENCHAPES	Corte de las piezas	Rotura de las piezas	
		Eliminación por desorden	
		Pedidos en exceso	

Tabla 4. Identificación y clasificación de desperdicio de materiales (Perdida Indirecta)

DESPERDICIO DE MATERIALES			
DESPERDICIO INDIRECTO			
	SUSTITUCION	SUPERPRODUCCION	TRABAJOS ADICIONALES
CONCRETO PREMEZCLADO	Colocacion de concreto de mayor resistencia a lo especificado	Produccion de elementos de mayores dimensiones a las especificadas	
ACERO	Colocacion de varillas con especificaciones superiores a las solicitadas	Colocacion de varillas de un diametro mayor al especificado	
MORTERO	Dosificaciones excesivas de material en las mezclas	Espesores adicionales de mortero	Resanes de cangrejas o reparaciones de defectos

*Estos materiales tienen causas de desperdicio iguales al mortero por ser la materia prima para su producción.

CAPÍTULO 3

ANTECEDENTES

Con la finalidad de contextualizar la investigación, se presenta a continuación un resumen de los principales trabajos publicados sobre el tema de desperdicios en la construcción. Esta revisión permitirá apreciar los aspectos que han sido cubiertos al respecto, los niveles de avance obtenidos, las diversas metodologías aplicadas y los temas todavía no investigados.

Cada uno de estos trabajos es importante por diversas razones, algunos de ellos por haber sido pioneros en su tiempo, otros por la amplitud de las muestras utilizadas, lo preciso de sus observaciones, etc. Por estos motivos, todos merecen los debidos créditos por su valioso aporte en la investigación de los verdaderos niveles de pérdidas de materiales que ocurren en los procesos de construcción.

Además se mostrarán los resultados y conclusiones obtenidos por cada uno de los estudios, y así, se obtendrán criterios de comparación con los resultados a obtenerse como producto de la presente tesis.

3.1 ESTUDIOS ANTERIORES:

3.1.1 SKOYLES (1976); SKOYLES (1978); SKOYLES & SKOYLES (1987):

Esta investigación, realizada en el Reino Unido fue impulsada por el Building Research Establishment (BRE) así como por el Chartered Institute of Building (CIOB), abarcó el estudio de 21 materiales en un total de 114 obras y es considerado uno de los primeros y más ambiciosos intentos por medir las verdaderas cantidades de desperdicios que se producen en obra.

La metodología utilizada por estos investigadores se basó en la clasificación de los desperdicios en dos categorías:

- Pérdidas Directas: Incluyen todos los desperdicios que pueden verse claramente durante el proceso de construcción. Pueden observarse en el desmonte que se elimina periódicamente.
- Pérdidas Indirectas: Esta categoría de desperdicios es más difícil de detectar, ya que muchas veces se confunde con el trabajo valioso, dentro de esta clasificación las pérdidas pueden observarse en forma física o financiera. Los tipos de pérdidas indirectas reconocidos por los autores son tres: Pérdidas por sustitución (cuando se utiliza un material más costoso en lugar de otro, ya sea por equivocación o urgencia), pérdidas por producción (cuando se utilizan materiales para un procedimiento necesario, el cual no se tenía planeado) y pérdidas por negligencia (Cuando se utiliza mayor cantidad de materiales en algún procedimiento)

La estimación de las pérdidas directas se realizó mediante el levantamiento de tres datos:

- Materiales Recibidos: Se refiere a los materiales que ingresaron a la obra durante el período de muestreo.
- Materiales Almacenados: Se debe realizar un inventario de todos los materiales en stock, tanto al inicio como al término del período de muestreo.
- Metrado inicial: Es la cantidad de material colocada en la estructura. Para estimar este dato se pueden utilizar los planos del proyecto o las valorizaciones de subcontratistas.

Es necesario agregar aquí algunas correcciones, debido justamente a las pérdidas indirectas, dichas correcciones varían de acuerdo al tipo de pérdida indirecta:

- Por Sustitución: Debe calcularse la cantidad de material que se colocó en lugar del material original y convertirse a metrado equivalente.
- Por Producción: Se debe estimar la cantidad de material que se utilizó en procedimientos no previstos y transformarla a las unidades utilizadas en el metrado inicial.
- Por Negligencia: Cuando se coloca mayor cantidad de material que la que está especificada en el proyecto el metrado inicial debe ser multiplicado por un factor de amplificación. Por ejemplo, si a una cierta área se le debe aplicar un recubrimiento de 2 cm. y en lugar de eso se aplica uno de 3 cm. Deberá multiplicarse ésta área por la relación 3/2.

Una vez que se ha recolectado toda esta información, para un período de tiempo determinado, se puede proceder a estimar el porcentaje de pérdidas directas mediante el uso de la siguiente fórmula¹:

$$\text{Pérdida directa} = C_{\text{recibido}} - \left[(\text{CM}_{\text{real}} + \text{CM}_{\text{equivalente}} + (\text{pérdidas indirectas})) \times \frac{C_{\text{mate}}}{\text{Unid. metrado}} + C_{\text{almacenada}} \right]$$

donde:

- C recibido: Es la cantidad de material que se recibió durante el periodo que duró la medición
- CM real: La cantidad de metrado inicial, se calcula con las valorizaciones de los subcontratistas
- CM equivalente: Es la cantidad de metrado equivalente que se obtiene de las correcciones realizadas a las pérdidas indirectas
- C mate/UNID metrado: Representa la cantidad de material teórico utilizado por unidad de metrado.
- C almacenada: Es la cantidad de materiales que quedaron en el almacén luego de finalizar el levantamiento de datos

¹ Ésta fórmula no está definida en los textos originales, es la interpretación de J.C. Paliari en su análisis del trabajo de SKOYLES

Por otro lado, las pérdidas indirectas se determinarán identificando el costo de cada una de las tres categorías identificadas:

- Por Substitución: Consiste en determinar la diferencia de costos entre los materiales utilizados y los que deberían haber sido colocados.
- Por Negligencia: Se debe calcular el costo de los materiales que se colocaron en exceso en la estructura.
- Por Producción: Debe determinarse el costo de los materiales que se utilizaron en procedimientos imprevistos

Mediante el uso de esta metodología Skoyles logró obtener los siguientes resultados:

Tabla 1. Pérdida directa de materiales (SKOYLES, 1976)

Material	N° De obras	Rango de resultados	Índice de pérdidas directas (%)	
			Promedio	Usual
Concreto en infra-estructura	12	3 – 18	8	2.5
Concreto en superestructura	3	-	2	2.5
Acero	1	-	5	2.5
Ladrillos corrientes	68	1 – 20	8	4.0
Ladrillos caravista	62	1 – 22	12	5.0
Ladrillos estructurales huecos	2	-	5	2.5
Ladrillos estructurales macizos	3	9 – 11	10	2.5
Bloques ligeros	22	1 – 22	9	5.0
Bloques de concreto	1	-	7	5.0
Tejas	1	-	10	2.5
Madera (Tablas)	3	12 – 22	15	5.0
Madera (Planchas)	2	-	15	5.0
Mortero (Paredes)	4	2 – 7	5	5.0
Mortero (Techos)	4	1 – 4	3	5.0
Cerámica (Paredes)	1	-	3	2.5
Cerámica (Pisos)	1	-	3	2.5
Tubería de cobre	9	-	7	2.5
Tubería de PVC	1	-	3	2.5
Conexiones de cobre	7	-	3	-
Placas de vidrio	3	-	9	5
Ventanas prefabricadas	2	-	16	-

3.1.2 PINTO (1989):

Esta investigación sobre pérdidas de materiales en la construcción tiene como mérito ser la primera que se realizó en Brasil (Uno de los países en el mundo donde se han llevado a cabo mayor cantidad de trabajos al respecto). Se basó en el estudio de un único edificio, El Flat Hotel, de 18 pisos que cuenta con 3658 m² de área construida, ubicado en la ciudad de Sao Paulo.

Se decidió estudiar los materiales que, de acuerdo al autor, fueran considerados como potenciales fuentes de desperdicio, estos son: concreto, acero, sellos, cemento, cal hidratada, arena, mortero y cerámicas.

Para la realización de éste estudio, el primer paso fue realizar un metrado de todas las estructuras donde estuvieran involucrados los materiales en estudio, a continuación se determinaron las cantidades teóricas de material que se debería utilizar por unidad de metrado².

Paralelamente se llevó el control de todos los materiales recibidos en obra y de los que salían del almacén para ser utilizados. Además se realizaron visitas periódicas para verificar si se habían realizado modificaciones del proyecto en campo y tomar medidas de las dimensiones reales ejecutadas (espesores de losa, recubrimientos, etc.)

A manera de resultados, Pinto presenta en forma porcentual, la diferencia entre el material que se compró para la obra y el que teóricamente debió ser colocada en la edificación de acuerdo a los metrados realizados inicialmente, es decir, en estos porcentajes de pérdidas están incluidas tanto las directas como las indirectas.

² Estas cantidades se obtuvieron de los análisis de precios unitarios, para esto se eliminaron los porcentajes de mermas asumidos.

Tabla 2 Índices de pérdidas de materiales (PINTO, 1989)

Material	Desperdicio calculado (%)	Expectativa usual de pérdidas (%)
Madera (en general)	47.5	15
Concreto premezclado	1.5	5.0
Acero CA 50/60	26.0	20.0
Sellos	13.0	5.0
Cemento CP 32	33.0	15.0
Cal Hidratada	102.0	15.0
Arena lavada	39.0	15.0
Mortero	86.5	10.0
Cerámica (pared)	9.5	10.0
Cerámica (piso)	7.5	10.0

3.1.3 PICCHI (1993):

El autor realizó su estudio basado en la observación de tres edificios residenciales y convencionales durante los años 1986 y 1987.

En ellos, analizó la cantidad de material retirada de la obra en forma de desmonte, para esto, utilizó las facturas de las empresas encargadas de realizar eliminar éstos desperdicios. No se consideraron los primeros viajes de los volquetes ya que sólo transportaban tierra.

Además, realizó mediciones para determinar los espesores reales de tarrajeo aplicados a las estructuras ya que, de acuerdo a su experiencia, ésta es una de las principales causas de pérdidas en la construcción.

Paralelamente estimó, basado en algunas hipótesis, los porcentajes de pérdidas en función al costo de la obra, en esta estimación se incluyeron distintos tipos de pérdidas (atrasos, reparaciones, etc)

Respecto a la cantidad de desmonte eliminado en cada obra el autor obtuvo los siguientes resultados:

Tabla 3 Datos relativos al desmonte generado (PICCHI, 1993)

Obra	Área construida (m ²)	Cantidad de desmonte (m ³)	Espesor equivalente del desmonte (cm)	Masa de desmonte ³ (t/m ²)	Desmonte/Masa final proyectada de la estructura ⁴ (%)
A	7619	606.5	7.9	0.095	11.2
B	7982	707.7	8.9	0.107	12.6
C	13581	1645.0	12.1	0.145	17.1

Además, esta investigación, logró determinar que los espesores de tarrajeo utilizados en obra son en promedio 81.3% mayores a los que están especificados en el proyecto, lo que representa un incremento en la masa del edificio del orden de 17.2%.

Se determinaron también, los valores de distintos tipos de pérdidas, en relación con el costo de la edificación, cabe resaltar que algunas de estas pérdidas no guardan relación con los desperdicios de materiales.

Tabla 4 Estimación de desperdicios en función al costo de la obra (PICCHI, 1993)

Ítem	Contenido	%
Desmonte	Restos de mortero	5.0
	Restos de ladrillo	
	Restos de madera	
	Limpieza	
	Retirada de material	
Espesores adicionales de mortero	Tarrajeo de techos	5.0
	Tarrajeo de paredes internas	
	Tarrajeo de paredes externas	
	Contrapiso	
Dosificaciones no optimizadas	Concreto	2.0
	Mortero de Tarrajeo de techos	
	Mortero de Tarrajeo de paredes	
	Mortero de contrapisos	
	Mortero de revestimientos	
Reparaciones y retrabajos no computados en el desmonte	Repintado	2.0
	Retoques	
	Corrección de otros servicios	

³ Se utilizó un valor de masa específica equivalente a 1.2 t/m³

⁴ Se consideró una masa final del edificio de 0.85 t/m²

Tabla 5 Estimación de desperdicios en función al costo de la obra (PICCHI, 1993)

Ítem	Contenido	%
Proyectos no optimizados	Arquitectura	6.0
	Estructuras	
	Instalaciones Sanitarias	
	Instalaciones eléctricas	
Pérdidas de productividad debido a problemas de calidad	Paradas y operaciones adicionales por falta de calidad en los materiales y servicios anteriores	3.5
Costos debidos a atrasos	Pérdidas financieras por atrasos de las obras y costos adicionales de administración, equipos y multas	1.5
Costos en obras entregadas	Reparo de patologías ocurridas después de la entrega de la obra	5.0
TOTAL		30

3.1.4 SOIBELMAN (1993):

Tomando como base de su estudio cinco obras ubicadas en la ciudad de Porto Alegre, la investigación de Soibelman se planteó tres objetivos principales: determinar los índices de pérdidas de los materiales más comunes en las construcciones, analizar las causas de éstas pérdidas y sugerir medidas para poder reducirlas.

A diferencia de otros trabajos, en éste se tuvo a gente dedicada tiempo completo a la obra, su misión fue realizar un constante seguimiento de los materiales estudiados para determinar sus flujos dentro de la obra y así identificar las causas de los desperdicios. Para esto se utilizaron formatos especialmente diseñados en donde se controlaban los metrados ejecutados, las cantidades de material recibido, el trato que se le daba a cada material, etc.

Los materiales elegidos fueron seleccionados tanto por su importancia en la obra como por la facilidad para obtener información sobre ellos. Se consideraron: el acero, concreto premezclado, cemento, arena, cal, mortero y ladrillos.

La metodología se basó en determinar dos fechas base, las denominadas visita inicial (VI) y visita final (VF). En estas dos fechas se levantaron los mismos datos: Cantidad de material adquirido, cantidad de material almacenado y cantidad de material teóricamente necesaria⁵ para realizar los metrados logrados hasta el momento de la visita. Con estos datos se puede obtener el porcentaje de pérdidas ocurridas entre la visita inicial y la final⁶:

$$\text{Pérdida(\%)} = \frac{\text{Mreal} + \text{Alm(VI)} - \text{Alm(VF)}}{\text{Mteo}}$$

Mediante el uso de ésta fórmula la investigación de Soibelman reportó los siguientes resultados:

Tabla 6 Índices de pérdidas entre VI y VF (SOIBELMAN, 1993)

Material	Obras					Media
	A	B	C	D	E	
Acero	18.8	27.3	23.0	7.9	18.3	19.0
Cemento	86.1	45.2	36.5	109.8	135.4	82.6
Concreto	5.7	17.2	-	15.9	-	12.9
Arena	24.6	29.7	-	133.3	43.8	44.4
Mortero	103.0	87.5	40.4	152.1	85.0	93.6
Ladrillo hueco	-	8.2	93.3	33.6	107.3	50.0
Ladrillo macizo	43.5	15.2	-	47.2	109.9	54.0

Además, gracias al seguimiento detallado de la obra se logró determinar las principales causas de éstas pérdidas, las cuales fueron resumidas en el siguiente cuadro:

⁵ Para determinar la cantidad de material teóricamente necesaria se realizó un análisis de precios unitarios basado en proyectos similares en el que no se consideraron los desperdicios.

⁶ El autor determina también, con los mismos datos las pérdidas obtenidas antes de la visita inicial y antes de la visita final, para esto usa fórmulas similares.

Tabla 7 Causas de las principales pérdidas (SOIBELMAN, 1993)

Material	Principales causas
Concreto premezclado	Diferencias entre la cantidad entregada y la solicitada
	Uso de equipos en mal estado
	Errores de cubicaje
	Dimensiones mayores a las proyectadas
Mortero	Uso excesivo de mortero para reparar irregularidades (el consumo fue 89% mayor)
	Presencia de sobrantes diarios, los cuales debían ser eliminados
Ladrillos huecos	Malas condiciones en el recibo y almacenamiento de los ladrillos
	Modulación nula, lo que trae como consecuencia la necesidad de cortar las unidades
Cemento	Valen las mismas observaciones que para el mortero respecto al uso excesivo
	Rotura de bolsas en el momento de recibir el material
	Almacenamiento inadecuado del material
Arena	Inexistencia de contenciones laterales para evitar dispersión de material
	Manipulación excesiva antes de su uso final

También se realizó el análisis del impacto de éstas pérdidas en el costo final de la estructura, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 8 Estimación del costo de las pérdidas de materiales considerando las demás pérdidas (SOIBELMAN, 1993)

Insumo	Costo teórico (%)	Costo real (%)				
		A	B	C	D	E
Acero	4.31	5.12	5.49	5.30	4.65	5.10
Cemento	5.24	9.25	7.61	7.04	13.19	11.15
Concreto	5.38	5.96	6.01	6.32	5.42	6.73
Arena	0.94	1.19	1.22	1.13	1.97	1.34
Mortero	0.69	1.40	0.69	0.97	1.24	1.20
Ladrillos huecos	2.25	3.15	3.15	3.06	2.85	4.65
Ladrillos macizos	0.27	0.39	0.31	0.32	0.34	0.52
Resto de materiales + Mano de obra	80.92	80.92	80.92	82.92	80.92	80.92
TOTAL	100	107.38	105.40	105.06	110.58	111.62
COSTO DE LAS PERDIDAS	-	7.38	5.40	5.06	10.58	11.62

3.1.5 UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE HONG KONG (1993)

La investigación fue realizada por encargo de la Asociación De Construcción de Hong Kong y tuvo como finalidad el cumplimiento de dos objetivos: cuantificar e identificar la naturaleza de los distintos tipos de desmonte en construcción civil y determinar sus causas. Éste estudio fue motivado por el poco espacio con el que cuenta el país de Hong Kong para el depósito de desperdicios.

El trabajo se llevó a cabo en 32 obras, en las cuales se tenían asignados estudiantes, quienes levantaban información constantemente, turnándose para estar presentes en todo momento durante la construcción.

Para determinar los volúmenes de desmonte producidos por las obras se clasificaron los desperdicios en cinco categorías y para cada una se determinó el denominado “índice de desmonte” en base a la experiencia de los autores⁷, es así, que mediante la aplicación de estos índices en fórmulas específicas se calcula la cantidad de desperdicio producido.

Tabla 9 Modelo para estimación de desmonte en obras (POLITECNICO DE HONG KONG, 1993)

Categoría	Índice de desmonte (%)	Volumen de desmonte (m3)
Granular inerte proveniente del vaciado	11	Metrado (m3) x Índice de desmonte (%)
Granular inerte proveniente de materiales cerámicos	15	Metrado (m2) x Espesor (m) x Índice de desmonte
Restos de madera de encofrado o actividades temporales	100	$\frac{\text{Metrado (m2)} \times \text{Espesor} \times 1}{\# \text{Reutilizaciones}^8}$
Materiales condicionados	5	Volumen de materiales (m3) x Índice (%)
Otros desmontes	Despreciable	-

⁷ Excepto en el caso del concreto premezclado, donde el índice fue calculado mediante la comparación entre las cantidades compradas y las necesarias según el presupuesto

⁸ El autor utiliza un promedio de reutilizaciones de 9

A manera de comprobación se calcularon los valores reales de desmonte producidos por una obra, observándose una variación de 13.3 % en relación a los obtenidas mediante las fórmulas de estimación. Conociendo la certeza que se podía obtener de estas estimaciones se procedió a aplicar los cálculos en trece obras obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 10 Volumen de desmonte a través de la aplicación del modelo propuesto (POLITECNICO DE HONG KONG, 1993)

Datos de los proyectos		Estimación de desmonte (m3)					
Tipo de edificación	Área construida (m2)	Granular		Envolturas	Madera	Total	m3/m2
		Concreto	Otros				
Vivienda	55,817	3,838	602	231	596	5267	0.09
Vivienda	4,300	188	54	23	31	297	0.07
Vivienda	3,162	198	72	31	45	346	0.11
Vivienda	12,574	957	408	176	327	1867	0.15
Oficina	3,302	193	30	12	42	279	0.08
Oficina	2,814	159	25	9	39	232	0.08
Oficina	109,415	5,225	994	386	949	7554	0.07
Edificio	87,360	4,588	1572	702	0	6861	0.08
Edificio	86,497	4,709	1390	615	531	7244	0.08
Edificio	5,250	291	164	80	49	583	0.11
Edificio	10,2780	9,272	3179	1302	1549	15302	0.15
Colegio	8,390	497	96	40	79	712	0.08
Otros	2,870	178	71	32	84	365	0.13
TOTAL	484,531	30,293	8657	3639	4231	46909	0.10

3.1.6 SANTOS (1995)

Santos estudió una obra compuesta por tres bloques de edificios residenciales, en ellos, se propuso observar las pérdidas que ocurren durante los procedimientos de asentado de ladrillo y aplicación de tarrajeo, que incluyen los siguientes materiales: cemento, arena, ladrillos macizos y huecos. El autor logró determinar, en forma similar a Soibelman, los porcentajes de desperdicio para estos materiales y además presentó un análisis económico en el cual se estima la cantidad de dinero que representan las pérdidas. Todos éstos resultados se presentan en el siguiente cuadro:

Tabla 14 Pérdidas contabilizadas: estudio de caso (SANTOS, 1995)

Material	Pérdida	Cantidad	U\$/un	Costo (U\$)
Cemento	79.6	3163 bolsas	5.67	17,934
Arena	42.5	325 m ³	10.19	3,312
Ladrillos huecos	5.4	27500 un	0.11	3,025
Ladrillos macizos	25.5	40468 un	0.07	2,833

3.1.7 ENSHASSI (1996)

Realizó un estudio utilizando los preceptos expuestos por SKOYLES, su trabajo se desarrolló en 86 obras ubicadas en la Franja de Gaza, Israel y se centró en el análisis de ladrillos, cemento y arena obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 15 Índice de pérdidas: estudio de 86 obras (ENSHASSI, 1996)

Material	Pérdida directa (%)	Pérdida indirecta (%)	Total (%)	Expectativa (%)
Ladrillo corriente	3.2	2.0	5.2	2.0
Ladrillo caravista	4.9	2.2	7.1	3.0
Barras de acero	2.1	1.5	3.6	2.0

3.2 PRINCIPALES CONCLUSIONES

Todos los trabajos de investigación presentados anteriormente han obtenido importantes conclusiones, algunas generales y otras más específicas pero todas brindan importantes aportes al estudio.

La mayoría de los autores coincide en la gran diferencia que existe entre los valores tradicionalmente utilizados en los presupuestos para estimar el desperdicio y los porcentajes verdaderos observados; Existe además una amplia dispersión de resultados para el indicador de desperdicio de un mismo material en distintas obras.

Estos resultados permiten a los expertos creer en el gran potencial de mejora que existe para disminuir los índices de desperdicio de materiales en la construcción ya que la gran variedad de resultados señala que una obra con mucho desperdicio podría llegar a disminuirlo si utilizara herramientas, equipos, metodologías o procedimientos distintos a los que mantiene.

Uno de los principales problemas detectados en las obras ha sido la falta de control para actuar en forma preventiva así como la falta de planeamiento que existe respecto al desperdicio de materiales. Se ha reconocido que todos los agentes que intervienen en los procesos constructivos tienen injerencia significativa en el nivel de desperdicio detectado.

Todos los autores coinciden en resaltar el impacto económico que este problema tiene sobre los resultados de las obras y que en la mayoría de los casos es transferido directamente a los usuarios finales. Este incremento del costo puede llegar a un 10% del valor de la obra.

Respecto a la cantidad de desmonte producido por las edificaciones en construcción se presentan algunas cifras alarmantes a manera de conclusión. Se ha estimado que la cantidad de desmonte producido durante la construcción de un edificio es tal, que si se divide éste volumen entre el área construida se obtienen espesores entre 8 y 12 cm. En general la cantidad de desmonte eliminado en una obra oscila entre 0.095 y 0.145 t/m² construido lo que equivale aproximadamente a entre 8 y 12 m³/m² techado, muestra del importante impacto en el medio ambiente generado por el desperdicio de materiales.

Como alternativas propuestas al problema planteado, algunos autores señalan la importancia de desarrollar indicadores que puedan dar aproximaciones precisas a lo largo de la obra sobre las cantidades de desperdicio que se están produciendo como producto de la construcción. Así mismo mencionan la posibilidad de estudiar alternativas de reuso y reciclaje de materiales para disminuir la cantidad de residuos sólidos que se producen.



CAPITULO 4

METODOLOGIA

4.1) ALCANCE

Este trabajo ha sido realizado en base a los resultados obtenidos durante la ejecución de las obras de construcción de los edificios, los cuales se denominaran *Obra A* y *Obra B*, ambos de similares características arquitectónicas y estructurales.

La obra A está ubicado en el distrito de Miraflores-Lima frente al malecón Balta y calle Venecia, es un edificio de vivienda de 17 pisos (55.20 m. de altura) en cada piso hay 2 departamentos excepto en el primero en donde hay solo 1, haciendo un total de 33 departamentos, además de 3 sótanos y 1 semisótano en donde se ubican los estacionamientos y depósitos de los propietarios.

En la parte posterior del terreno, hacia la calle Venecia se desarrollaron zonas de esparcimiento como gimnasio, oficio y salón de usos múltiples, etc.

Los 32 departamentos de los pisos superiores cuentan con un área techada de aproximadamente 200 m² y se pueden encontrar en ellos áreas destinadas a usos como sala-comedor, dormitorio principal, WCL, baño completo incorporado, dos dormitorios adicionales con baño incorporado, estar, cocina, lavandería, dormitorio y baño de servicio; El departamento en el primer piso por su parte tiene 65 m² y cuenta con un dormitorio, baño completo y vestidor y una sala-comedor-kitchenet en un solo ambiente.

El sistema estructural que compone el edificio es aporticado, es decir está formado por placas y vigas de concreto armado las cuales brindan rigidez en ambas direcciones en caso de sismo. Las divisiones y cerramientos en la mayoría de los casos han sido ejecutadas con muro de ladrillo KK de soga con columnetas intermedias cada 4m. Así mismo se utilizó drywall para el cerramiento de dinteles y vanos del ascensor.

La obra B, por su parte es también un edificio de vivienda ubicado en el distrito de Miraflores-Lima en el cruce de la avenida Malecón Cisneros y la calle Italia. Esta edificación cuenta con 18 pisos (53.95 m. de altura). En sus pisos superiores se ubican 2 departamentos por piso mientras que en el primer piso solo cuenta con uno. El área de los departamentos superiores es aproximadamente de 230m² y 205 m², también cuenta con 67 estacionamientos vehiculares y 33 depósitos distribuidos en los 4 sótanos que han sido construidos para tal fin. Adicionalmente se construyeron zonas de entretenimiento y reunión como son la sala de usos múltiples, piscina temperada, gimnasio y sauna.

El sistema estructural del edificio es Aporticado, es decir compuesto por placas y vigas estructurales que brindan rigidez en ambas direcciones para soportar esfuerzos de sismo, los tabiques divisorios fueron construidos con ladrillo KK de 18 huecos divididos por columnetas de amarre cada 4 m.

Ilustración 1. Distribución de planta Edificio "A"

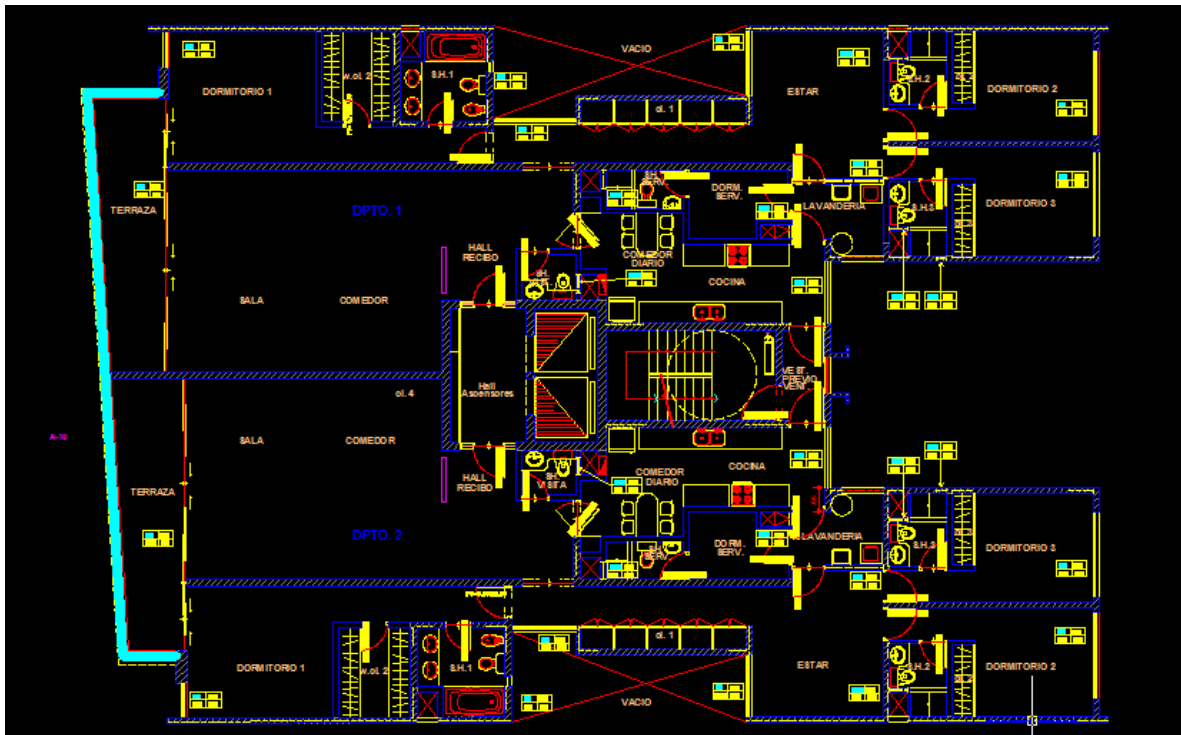


Ilustración 2. Elevación frontal Edificio "A"



Ilustración 3. Distribución de planta Edificio "B"

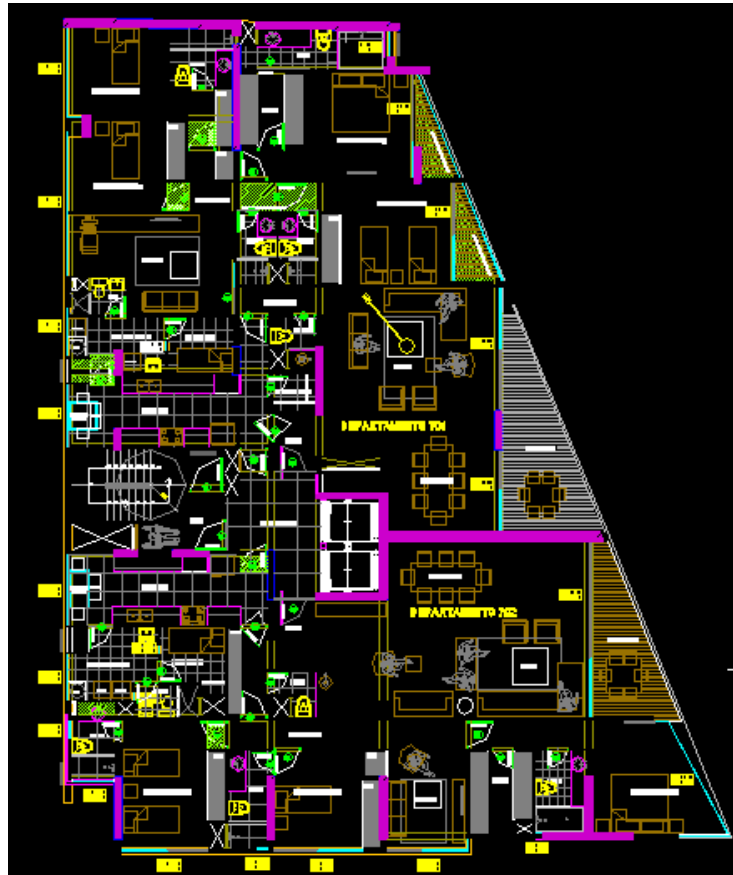


Ilustración 4. Elevación Frontal Edificio "B"



Durante la ejecución de estos proyectos la investigación se fue desarrollando con la finalidad de llegar a determinar la forma más adecuada de mantener el control de los desperdicios de materiales; se ha visto en investigaciones anteriores (presentadas en el capítulo pasado) que la gran mayoría de propuestas trataban de determinar el porcentaje exacto de desperdicio para un material en una determinada obra, obteniendo resultados muy diferentes entre distintos proyectos, debido a las características particulares de cada construcción como ya se mencionó previamente.

Frente a estas conclusiones, el presente trabajo, antes que determinar porcentajes de desperdicio específicos, los cuales posteriormente no puedan ser extrapolados a otros proyectos debido a la diversidad de tecnologías y sistemas de gestión que pueden existir en nuestro medio, trato de establecer un sistema de control sencillo que puede aplicarse en cualquier proyecto.

Este sistema permitirá identificar las partidas y materiales en los cuales se debe intervenir ya sea para mejorar un proceso o modificar la tecnología o los materiales utilizados. Los resultados positivos o negativos de esta intervención deben reflejarse en los indicadores propios del sistema de control.

Cabe indicar que el control realizado sobre el edificio A se inició cuando el proyecto estaba terminando la etapa de estructuras y ya habían comenzado los trabajos de albañilería por lo que se utilizó para recabar una información inicial y calibrar los indicadores así como los sistemas de control, además fue posible intervenir sobre algunas partidas para demostrar que se puede disminuir el desperdicio.

El trabajo realizado sobre el edificio B por otra parte fue más completo ya que fue posible un planeamiento inicial sobre algunas partidas para reducir aun más los niveles de pérdidas y se pudo integrar el sistema de evaluación de desperdicios de materiales a la gestión global de la obra, incluyendo los resultados semanales en las reuniones de todos los días lunes, donde se mostraba y comentaba el estado de los indicadores generales del proyecto.

Pese a que el trabajo sobre las dos obras se desarrolló en periodos de tiempo distintos se presentará la metodología de trabajo incluyendo los resultados para ambos proyectos en paralelo, de tal manera que se puedan comparar y comentar las mejoras o modificaciones que se realizaron. La metodología de trabajo que se planteó se divide en 5 etapas:

- Identificación
- Medición
- Evaluación
- Intervención
- Control

4.2) IDENTIFICACION

En la etapa de identificación se trata de determinar cuáles son los materiales o las partidas que valdrá la pena controlar a lo largo del proyecto, este proceso puede realizarse tanto de manera cualitativa como cuantitativa. Las motivaciones para mantener control sobre un material pueden variar dependiendo de las características de las empresas y los proyectos.

Una obra debe mantener control sobre un material por el costo que le puede ocasionar desperdiciarlo o eliminarlo, por el gran volumen de desmonte que representan los residuos, para asegurar la calidad de algunos procesos en donde puede estarse utilizando mayor material para corregir defectos, por la escasez del material en el mercado, para mejorar la productividad de la mano de obra, por el daño que puede representar para el medio ambiente la eliminación de algún material, etc.

En el caso particular de la empresa en donde se desarrollo la investigación se plantearon dos objetivos muy claros, disminuir el volumen de desechos eliminados y obtener ahorros al producir menos desperdicio.

Bajo esta premisa se plantearon dos formas de identificar los materiales a controlar. La primera fue por observación del desmonte que se estaba generando antes de iniciar el trabajo, esto con la finalidad de apreciar que tipo de materiales eran eliminados en mayor volumen y con mayor frecuencia. Así la reducción de estos desperdicios significaría reducir el impacto de la obra sobre el medio ambiente de manera importante y del mismo modo reducir el costo de eliminación del desmonte.

A continuación se presentan fotografías tomadas del desmonte existente en las obras A y B para determinar los materiales que están siendo eliminados como desmonte (perdida directa):

FOTO 1. Imágenes de residuos sólidos generados en Edificios "A" y "B"



En estas fotografías se pueden apreciar varios temas interesantes, en primer lugar se observa que el mayor volumen de desmonte es el generado por las actividades de albañilería (ladrillo, mortero, etc.) sin embargo también se pueden apreciar restos de concreto, todo el acero sobrante era separado para ser vendido como chatarra por tal motivo no está presente en ninguna de estas fotos.

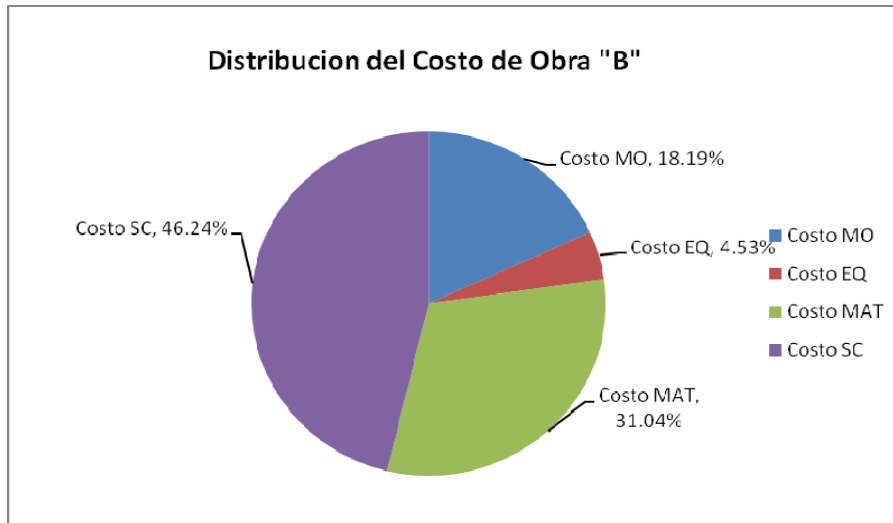
Se observa además que por ser edificaciones similares en donde se ejecutan las mismas partidas y se utilizan los mismos materiales se tienen residuos con las mismas características.

Finalmente en las fotos superiores que corresponden al inicio de la obra A se pueden identificar unidades de ladrillo KK enteras y en buen estado, estas unidades eran eliminadas de esta manera debido a que se dejaban abandonadas por la cuadrilla de asentado de ladrillo luego de su trabajo en un determinado sector de la obra, esto sucedía como consecuencia del sobreabastecimiento de ladrillos en el piso, es decir, se despachaban más de los necesarios para concluir con el trabajo de la jornada.

Del mismo modo el exceso de mortero proveniente de las sobras de los trabajos de asentado de ladrillo, tarrajeo de muros, cielo raso, contrapiso, etc. Además de generar un gran volumen de desmonte traía consigo grandes dificultades para su eliminación, ya que se endurecía rápidamente obligando a los ayudantes de limpieza a realizar un esfuerzo adicional para recogerlo al día siguiente.

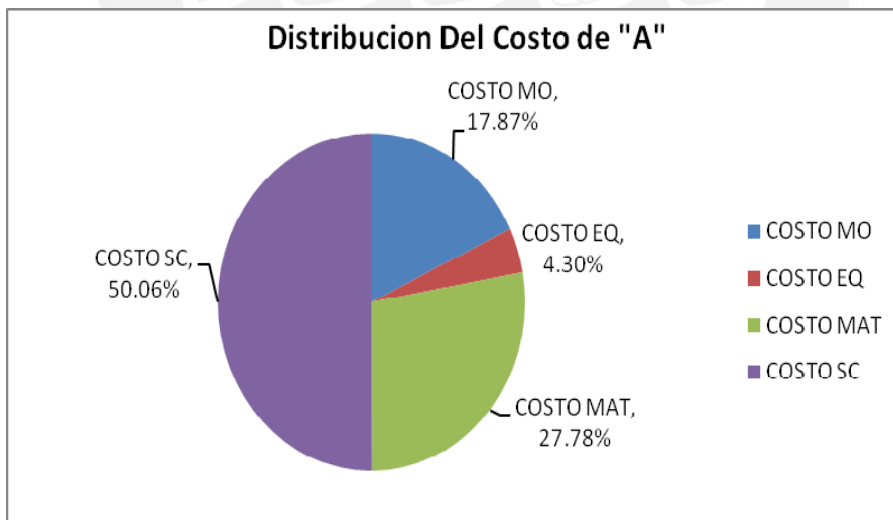
El segundo análisis desarrollado fue económico y se elaboró en función a los presupuestos de los proyectos, con la ayuda de esta información se determina la incidencia de los materiales en el costo final de obra, posteriormente con ayuda de gráficos de Pareto se determinó cuáles eran los materiales cuyo costo tenía mayor incidencia en el presupuesto de la obra y en qué partidas estaban involucradas, de esta manera cualquier ahorro en el consumo de estos materiales se reflejaría en un ahorro significativo para el proyecto.

Grafico 1. Distribución del costo de los recursos Edificio "A"



COSTO MO	COSTO EQ	COSTO MAT	COSTO SC
17.87%	4.30%	27.78%	50.06%
\$ 614,287.52	\$ 147,674.94	\$ 955,064.88	\$ 1,721,179.28

Grafico 2. Distribución del costo de los recursos Edificio "B"



COSTO MO	COSTO EQ	COSTO MAT	COSTO SC
18.19%	4.53%	31.04%	46.24%
\$ 966,779.71	\$ 240,602.81	\$ 1,649,218.39	\$ 2,457,003.30

Se observa que la mayor incidencia del costo de las obras, a diferencia de lo presentado en la tabla 1, se encuentra en los subcontratos, esto es debido al tipo de edificaciones en estudio, en este caso se tratan de edificios de vivienda de lujo (costo de venta alrededor de \$2000/m²) en donde los acabados son de primera calidad y elevan el costo de los trabajos realizados por empresas especializadas (instalación de piso de parquet, pintura, vidrios templados, puertas de cedro, instalaciones de piscinas, equipamiento de gimnasio, etc.).

Como se puede apreciar los materiales significan cerca del 30 % del costo del proyecto, un valor incluso mayor que el porcentaje de la mano de obra en ambos casos, lo que reafirma la necesidad de mantener un control detallado sobre los materiales que tienen mayor impacto en el presupuesto. A continuación se detalla cuáles son los materiales más incidentes en el costo de obra. Cabe mencionar que no se están considerando en este análisis los materiales incluidos en los subcontratos a todo costo como pintura, vidrios, aluminio, etc.

Grafico 3. Distribución del costo de materiales Edificio "A"

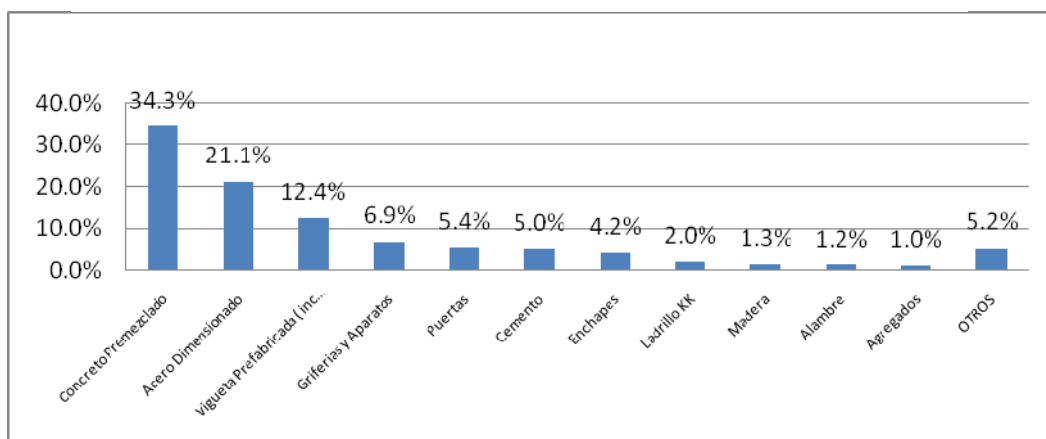
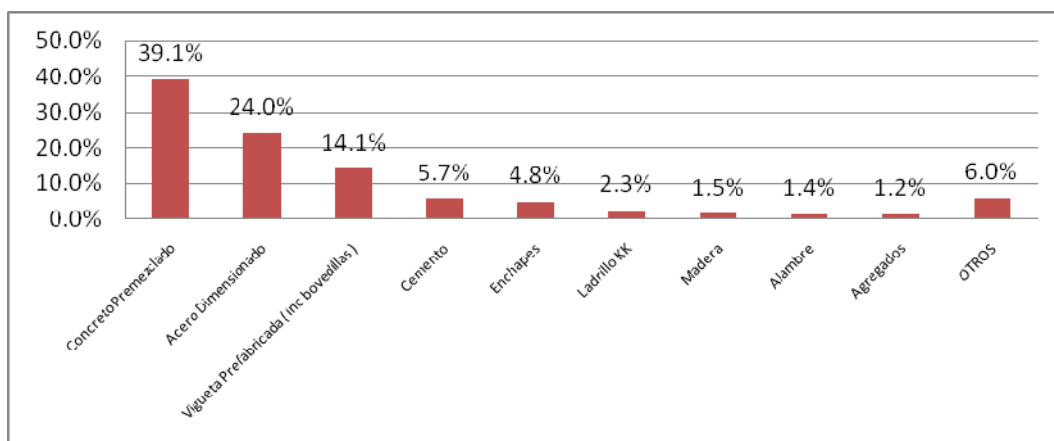


Grafico 4. Distribución del costo de los materiales (sin gestión de almacenes) Edificio "A"



Cuando se plantea este ejercicio para el total de materiales que intervienen en la obra se aprecia la aparición de algunos materiales de gran importancia como las puertas o los aparatos sanitarios y griferías, los cuales se pueden controlar con una adecuada gestión de almacenes ya que es poco probable que se produzcan desperdicios durante el proceso de instalación por sus características particulares.

Una vez que se retiran estos materiales del análisis se aprecia el importante impacto de las partidas correspondientes a la estructura como son el concreto premezclado, el acero dimensionado, las viguetas y bovedillas. Algo más rezagados pero aun con significancia en el costo de la obra se encuentran los materiales correspondientes a las partidas de albañilería como son el cemento, los enchapes y ladrillos King Kong.

Grafico 5. Distribución del costo de materiales Edificio "B"

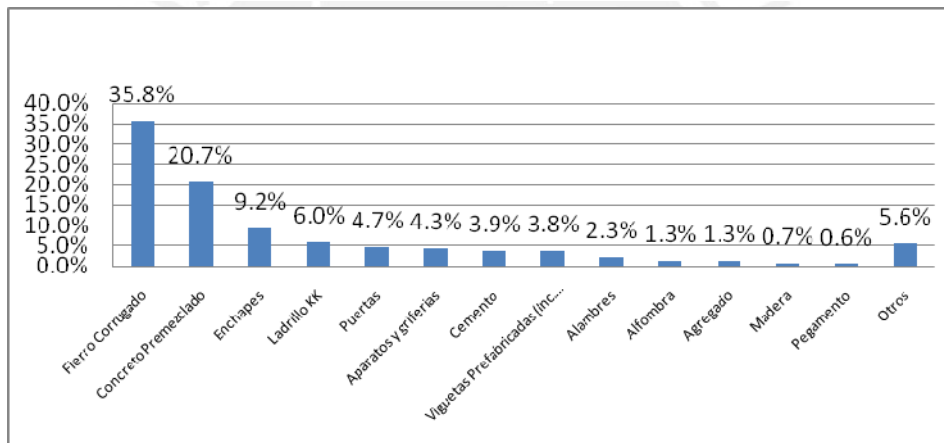
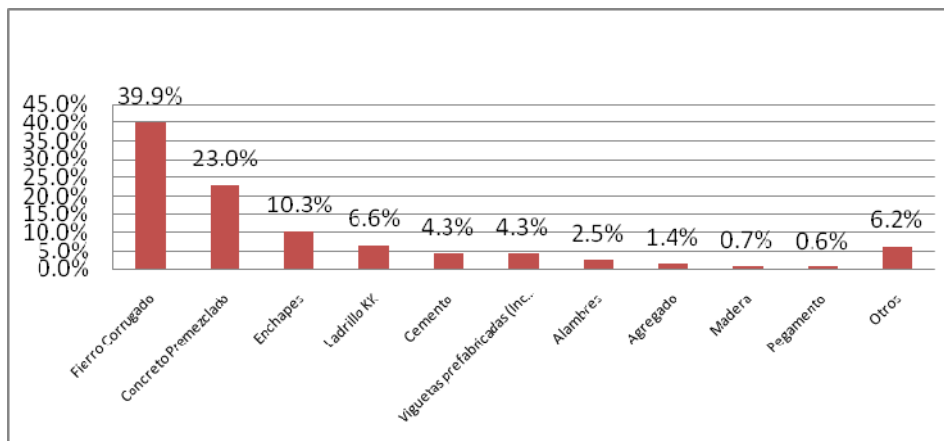


Grafico 6. Distribución del costo de materiales (sin gestión de almacén) Edificio "B"



Para el caso de la obra B se aprecia la misma distribución de costos, en primero lugar los correspondientes a concreto armado y posteriormente los correspondientes a albañilería. Cabe mencionar que en el caso de la obra A el primer lugar lo ocupa el concreto que posteriormente es desplazado en la obra B por el Acero, esto debido al fuerte incremento del costo del fierro corrugado durante la etapa de presupuesto del proyecto B.

En este caso se puede observar una menor incidencia de las viguetas y bovedillas debido a que el proyecto a diferencia del proyecto A cuenta con un sótano adicional (más concreto y acero) y mayor cantidad de losas macizas debido a la proyección de 3 piscinas (1 en la zona baja y 2 en el ultimo techo). Además del incremento del costo de materiales como cemento y ladrillo a causa de un mayor metrado (mayor cantidad de tabiques) y mayor calidad en el caso de los enchapes.

Luego de revisar la información presentada se debe definir cuáles serán los materiales sobre los que se mantendrá un control estricto. Para el presente trabajo, y en base a los objetivos de la empresa en donde se desarrollo la investigación se seleccionaron los materiales más representativos de la etapa de estructuras, como son el concreto y el acero, debido a que tienen una alta incidencia en el costo de la obra, así mismo se decidió controlar al ladrillo y el cemento, siendo estos los materiales más representativos de la etapa de albañilería, la cual genera el mayor volumen de desmonte en la obra.

Como ya se ha mencionado anteriormente, el trabajo en la obra A se inicio cuando las partidas de estructuras ya estaban en su etapa final, mientras que las de albañilería se encontraban en un 30%, es por este motivo que para este proyecto se tomo la decisión de enfocar la investigación en las partidas de albañilería, analizando a detalle el desperdicio de materiales como cemento y ladrillo con la finalidad de disminuir su volumen.

Esta información fue muy útil para posteriormente, durante la ejecución del proyecto B, mantener un control más adecuado de las partidas de albañilería y plantear medidas de mejora desde el inicio del proyecto para reducir el volumen de desperdicio. Adicionalmente se incorporo el control de materiales como concreto y acero, los cuales se utilizaron durante la etapa de estructuras de la obra.

Como ya anteriormente se han identificado las principales causas de desperdicio para los materiales seleccionados (VER CAPITULO 2) a continuación se detalla la forma en que se realizaron mediciones de campo en la obra A para las partidas de albañilería, con la finalidad de evaluar en campo los desperdicios más evidentes de material.

Así mismo se presentan las estimaciones de desperdicios en base a los metrados totales y los consumos finales de obra de los materiales representativos de las partidas de estructura (acero, concreto) los cuales fueron analizados con la finalidad de ver su posible representatividad.

4.3) EVALUACION

Una vez identificados los materiales sobre los cuales se debe mantener control, para asegurar la reducción del volumen de material eliminado y el costo de los desperdicios se proceden a evaluar alternativas viables con la finalidad de controlar los desperdicios.

a) Evaluación del ladrillo:

Las unidades de ladrillo Kingkong de 18 huecos de dimensiones 9cmx12cmx23cm se utilizaron para la construcción de muros de albañilería. Los ladrillos son transportados a la obra en camiones, los cuales se descargan en parihuelas en el primer piso (zona de descarga) para posteriormente ser transportados a los pisos superiores con el apoyo de la grúa, donde se almacenaban sobre parihuelas hasta que son llevados a la zona final de construcción del muro por los ayudantes de forma manual o con buguis luego de firmar los respectivos vales de almacén donde se indica la cantidad de material que están retirando.

Los muros de ladrillo se levantan de forma tradicional, los operarios con ayuda de cordel y plomada van asentando las unidades de arcilla sobre un mortero preparado en base a cemento, arena y agua, los cuales son provistos por los ayudantes. Finalmente los ayudantes son los encargados de limpiar la zona de trabajo desarmando plataformas, recogiendo los residuos y apilando las unidades de ladrillo sobrantes mientras que el albañil continúa con su trabajo en otro muro.

Luego de analizar el proceso con ayuda del equipo de obra se determinaron los posibles puntos de ocurrencia de desperdicio:

- **Perdidas por entregas incompletas:** Es posible que la cantidad entregada no sea la misma que se solicitó, este punto es controlado durante la colocación del material en las parihuelas, debido a que todas tienen el mismo tamaño, el apilamiento de las unidades de ladrillo en una misma distribución, y en un mismo número de capas permiten que sea posible contar detalladamente la cantidad de material entregado y revisar su estado durante la descarga.
- **Rotura de Unidades:** Se podría producir durante el transporte o el almacenamiento, por esta razón la forma de apilar los ladrillos es muy importante ya que les brinda estabilidad y permite que el traslado con estoca sea confiable
- **Perdidas por material sobrante eliminado:** se da una vez que se han terminado de construir los muros y se tienen ladrillos sobrantes, estos se dejan apilados a un lado pero no son reutilizados y terminan siendo abandonados en el lugar de trabajo luego de que la cuadrilla sube al siguiente piso, esto tiene que ver con un orden del proceso y se puede corregir dando las indicaciones necesarias al personal ayudante de la cuadrilla de albañilería para regresar las unidades sobrantes a la zona de almacenamiento principal.
- **Perdidas por corte de unidades:** Ocurre durante el asentado de ladrillos y debido a la falta de modulación de los muros, al ser necesarias piezas más pequeñas para terminar las hiladas en los extremos los operarios tienen que romper las unidades hasta obtener el tamaño conveniente.

Es sobre esta última causa de desperdicio que se decidió trabajar ya que es la que genera mayor cantidad de residuos, para determinar la situación inicial se realizaron mediciones en campo, contabilizando cuantas fracciones de las unidades de ladrillo se rompían por hilada para determinar el porcentaje de ladrillos desperdiciados obteniéndose el siguiente cuadro resumen:

Tabla 1. Resultados evaluación de desperdicio de ladrillo KK

Cuadro Consolidado de Datos	
Ladrillos enteros consumidos	310
Ladrillos partidos usados	44.33
Ladrillos partidos consumidos	75.17
TOTAL Ladrillos consumidos (Unid)	385.17
TOTAL Ladrillos usados	354.33
Desperdicio (%)	8.70%
Ladrillos consumidos/m2	40.5
Ladrillos colocados/m2	37.3

Adicionalmente, para verificar el impacto del desperdicio de materiales sobre la mano de obra, para esto se realizó una medición de niveles de actividad del proceso normal de asentado de ladrillo, levantando los siguientes resultados:

Grafico 7. Estudio de niveles de actividad cuadrilla de asentado de ladrillo

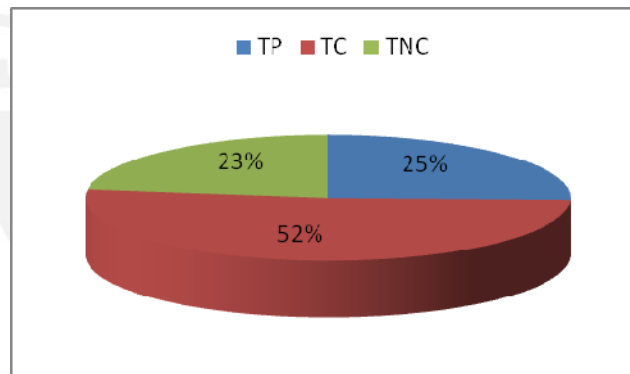


Grafico 8. Estudio de niveles de actividad cuadrilla de asentado de ladrillos (Operarios)

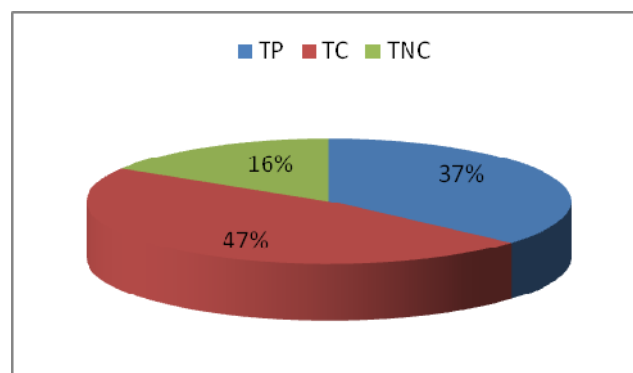
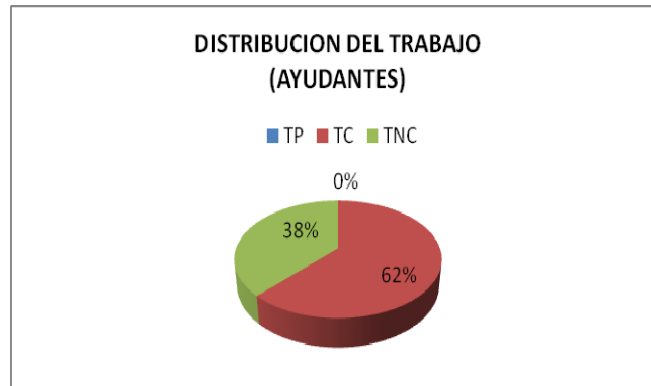


Grafico 9. Estudio de niveles de actividad cuadrilla de asentado de ladrillos (Ayudantes)



b) Evaluación del Cemento:

Las bolsas de cemento atlas de 42.5 Kg. Se utilizan para una gran variedad de partidas en la obra, entre ellas están el tarrajeo de muros, el cielorraso, los derrames, el contrapiso y el tarrajeo de fachada. El cemento se mezcla en proporción 5:1 con arena y se le agrega agua para formar un mortero adherente.

Las bolsas de cemento llegan a la obra en camiones del proveedor, los cuales son descargados en el primer piso (zona de descarga) y apilados en parihuelas, las cuales con el apoyo de la grúa son elevadas y trasladadas a los pisos donde serán utilizados, una vez ahí los ayudantes trasladan manualmente o en bugui las bolsas necesarias a las zonas de trabajo donde se efectúa la mezcla luego de firmar el respectivo vale de salida de almacén reportando la cantidad de material que estará utilizando.

A continuación se presentan las principales posibilidades de desperdicio analizadas para este material con el apoyo de los profesionales responsables del proyecto:

- **Perdidas por material sobrante:** Se observó que en todas las partidas de albañilería los operarios terminan el día con mortero preparado en sus bateas, el cual eliminan ya que es un material que no puede guardarse para el siguiente día. Este desperdicio es muy importante ya que contribuye a generar un gran volumen de desmonte.

- **Perdidas por espesores adicionales:** Es una pérdida indirecta que ocurre por falta de calidad en el proceso previo de construcción de muros, los desplomes obligan a los albañiles a compensar con mayor cantidad de mezcla para lograr un alineamiento adecuado del producto final. Este desperdicio no contribuye a generar desmonte.
- **Perdidas de proceso:** Durante la colocación del mortero en las distintas actividades de albañilería se aprecia que gran cantidad de mezcla cae al piso y no se recupera, siendo eliminada por la cuadrilla de limpieza al final del día, esto ocasiona una gran cantidad de desmonte.
- **Perdidas por entregas incompletas:** Es posible que la cantidad entregada no sea la misma que se solicitó, este punto es controlado durante la colocación del material en las parihuelas, debido a que todas tienen el mismo tamaño, el apilamiento de las bolsas en una misma distribución, y en un mismo número de capas permiten que sea posible contar detalladamente la cantidad de material entregado y revisar su estado durante la descarga.

En el caso del cemento se tomó la decisión de trabajar sobre los puntos que ocasionan mayor cantidad de desmonte, es decir, el material sobrante del proceso y las pérdidas durante el proceso, de forma similar al caso del ladrillo se realizó un pequeño muestreo para evaluar la cantidad de desmonte que podría ser ocasionada por los residuos de mortero.

Se tomó el caso del tarrajeo interior y se realizaron mediciones del material sobrante al final del día, agrupándolo en plásticos y pesándolo con una balanza calibrada, luego, se divide el peso obtenido entre 1,243 Kg/m³ de mortero (peso unitario calculado en base a mediciones de muestras pequeñas) y finalmente se obtiene la cantidad de mezcla desperdiciada. Finalmente para tener un ratio más detallado se divide la cantidad de mezcla entre el área que se tarraja y así se calcula el desperdicio de mortero en m³/m².

FOTO 2. Residuos de mortero en partida de tarrajeo de muros



Tabla 2. Medición de residuos de mortero en partida de tarrajeo de muros

		Muro			Material Sobrante		
Fecha	Muestra	L (m)	h (m)	Área (m ²)	(Kg)	(m ³)	m ³ /m ²
18/06/2008	1	1.10	2.40	2.64	10.7	0.009	0.0033
20/06/2008	2	2.00	2.40	4.80	17.3	0.014	0.0029
20/06/2008	3	1.45	2.40	3.24	14.3	0.012	0.0036
20/06/2008	4	1.64	2.40	3.70	9.0	0.007	0.0020
20/06/2008	5	8.12	2.20	17.62	57.7	0.046	0.0026
				32.0	109.0	0.088	0.0027

Tomando estos datos como premisa y considerando que semanalmente en la obra se tarrajeaban alrededor de 400m² de muro se estima que el desmonte producido por estos residuos de procesos es alrededor de 1.10 m³, es decir, de los 27 m³ de desmonte eliminados semanalmente en obra el 4.1% corresponde a esta actividad. Si consideramos entonces que existen muchas más actividades en las cuales existen sobrantes de mortero similares, sale a relucir la importancia de disminuir esta gran cantidad de residuos.

c) Evaluación del Concreto Premezclado:

El concreto premezclado llega a la obra en mixers del proveedor, la cantidad entregada varía según el criterio del ingeniero responsable del vaciado. Para colocarlo la empresa distribuidora de concreto instaló tuberías de acero que suben por el ducto del ascensor hasta el techo del piso en el que se está realizando el vaciado, con la ayuda de una bomba de concreto el material es impulsado por dichas tuberías hasta la zona de vaciado.

A continuación se presentan las principales causas de desperdicio de concreto en los proyectos estudiados según la evaluación previa de los profesionales de la obra.

- Pedidos en exceso: Muchas veces a manera de precaución los profesionales encargados del vaciado solicitan siempre un 5% de volumen adicional de concreto a la empresa proveedora, lo cual no tendría razón de ser si se verifica previamente en obra las dimensiones y características del elemento que se va a vaciar, sin embargo esto produce pérdidas por sobrantes del proceso.
- Residuos de proceso: Cuando se realizan vaciados en pisos superiores las empresas suelen contratar la instalación de tuberías de acero, las cuales permiten bombear el concreto desde las zonas inferiores, sin embargo, durante el proceso de limpieza de la tubería se puede apreciar la gran cantidad de concreto que queda atrapada en toda la longitud del tubo. Adicionalmente durante el proceso de vaciado de elementos verticales es necesario realizar movimientos de la tubería, lo que produce pérdidas de material y genera demoras.
- Pérdidas por sobreproducción: En el caso del concreto esto ocurre con mayor énfasis durante el vaciado de cimientos debido al desprendimiento del terreno lo que ocasiona que la cantidad de material que se coloca sea mucho mayor a la proyectada inicialmente.

Como se indicó anteriormente el proceso de observación en la obra A se inició cuando ya estaban concluyendo la etapa de estructuras de manera que no se contó con un muestreo inicial en campo, sin embargo, con la ayuda de las guías de compra de concreto se determinó que en total la obra compró un total de 4,796 m³ cuando el metrado del presupuesto estimaba 3,918 m³ de estructuras de concreto, es decir existió un desperdicio del orden del 22%.

Este porcentaje de desperdicio es signo de la ineficiencia del proceso tal y como se desarrolló en la obra, es por esto que para el caso del concreto se tomó la decisión de trabajar sobre los pedidos excesivos y los residuos de procesos así como los desperdicios de superproducción mencionados.

d) Evaluación del acero de refuerzo:

El acero de refuerzo llega a la obra en varillas de 9 m. de longitud entregadas por el proveedor, se descargan con un camión grúa en la zona de almacenamiento destinada, de donde son retiradas por los ayudantes para llevarlas al banco de fierro, una vez ahí se cortan y doblan para finalmente trasladarse a la zona de armado del elemento estructural.

En el caso del acero los profesionales encargados del proyecto coincidieron en señalar las siguientes causas de desperdicio como las más importantes:

- Residuo de Procesos: Durante el proceso de corte de las barras se producen residuos que no pueden ser utilizados en otro elemento ya que no existe una modulación general del acero de todo el proyecto, este es el principal problema en cuanto a desperdicio de acero.
- Falta de control: Las barras de acero están a disposición de todos los ayudantes, esto puede ocasionar que se utilicen más de las necesarias o que se corten piezas innecesariamente.

Para la obra A la partida de acero fue totalmente subcontratada, tanto la ejecución como el flujo del material corría por cuenta del contratista, por lo tanto no hay información suficiente para determinar cuál fue el consumo real de acero de este proyecto, sin embargo la residencia del proyecto tomó la decisión de plantear medidas para el control del material ya que durante la ejecución del proyecto B la partida correría por cuenta de la empresa.

4.4) INTERVENCION

Luego de evaluar cada uno de los materiales con los que se trabajara en la presente tesis se pasó a la etapa de desarrollo de planes de intervención para realizar mejoras en los procesos, de manera que se pueda disminuir el desperdicio de estos materiales reduciendo así la cantidad de desmonte y los costos producidos por las mermas.

a) Intervención para el ladrillo:

Se ha mencionado anteriormente que la principal causa de desperdicio de ladrillo es el corte de las unidades con la finalidad de obtener piezas más pequeñas que permitan rematar los muros en los extremos, esta situación se repite al inicio y al final de cada hilada.

Frente a esta situación se planteó la posibilidad de buscar la manera de cortar las unidades de albañilería de forma más industrializada, obteniendo dos piezas que pudieran utilizarse posteriormente en los extremos de los tabiques sin desperdiciar ninguna parte de la unidad.

Con este objetivo se realizaron pruebas con amoladoras y pequeñas hachas que utilizaban algunos operarios, sin embargo lo que resultó siendo más eficiente fue la máquina para cortar ladrillo utilizada para los ladrillos de concreto, en ella se podía realizar el corte de dos y hasta tres unidades a la vez obteniendo piezas tal y como se muestra en la siguiente foto:

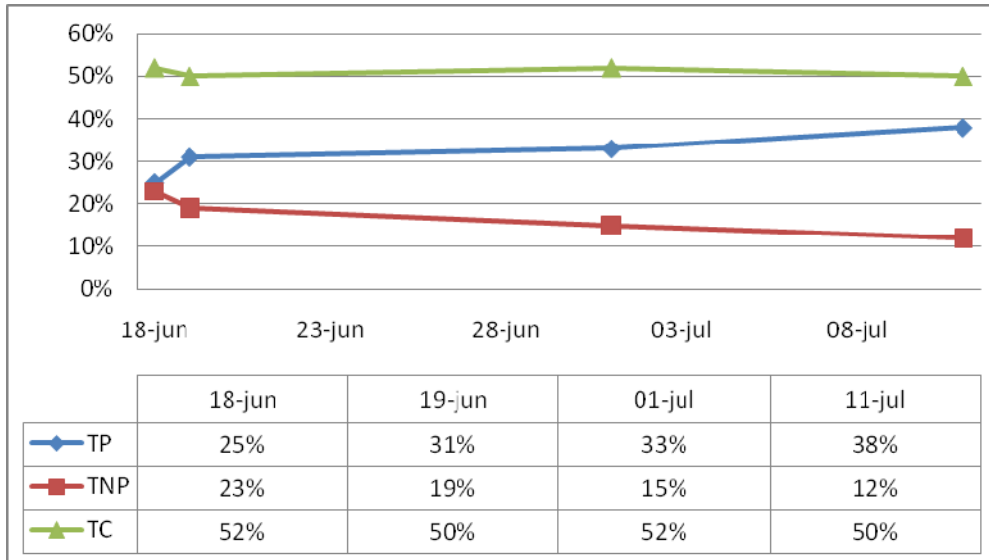
FOTO 3. Proceso de corte de las unidades de ladrillo



Con la introducción de este equipo nuevo en el proceso de asentado de ladrillos fue necesario replantear los trabajos de cada miembro de la cuadrilla, la actividad de corte de ladrillos ya no era realizada por cada operario mientras que colocaba las unidades en el muro sino que se centralizaba en un ayudante, quien se volvió experto en el uso de la máquina y se encargaba de cortar, organizar y distribuir los pedazos de unidad de ladrillo según eran solicitadas por los operarios. Al haber menor cantidad de residuos que limpiar los ayudantes se daban suficiente abasto para cortar las unidades y transportar los materiales que requerían los operarios, así como armar y desarmar plataformas.

Los operarios a su vez podían asentar mayor cantidad de unidades sin necesidad de estar deteniendo su ritmo constantemente para romper piezas de ladrillo lo que resulto beneficioso para la productividad de la mano de obra como se puede apreciar en las mediciones que se realizaron durante la implementación de la máquina de corte:

Grafico 10. Evolución del NA en la actividad del asentado de ladrillo



Se observa que la mejora del proceso fue progresiva ya que la aceptación de una forma diferente de trabajar tuvo poca acogida entre los operarios quienes inicialmente trataban de mantener el proceso tal cual lo habían realizado siempre, sin embargo, gracias a un continuo seguimiento se logro reorganizar a la cuadrilla y mejorar su rendimiento tal y como se aprecia en el grafico.

Básicamente la mejora se debe a que los operarios incrementaron su trabajo productivo (mayor cantidad de tiempo asentando ladrillos) y traspasaron su trabajo contributorio (corte de ladrillos) a los ayudantes, quienes a su vez reemplazaron trabajo no productivo con trabajo contributorio:

Grafico 11. Estudio de niveles de actividad cuadrilla de asentado de ladrillo con maquina

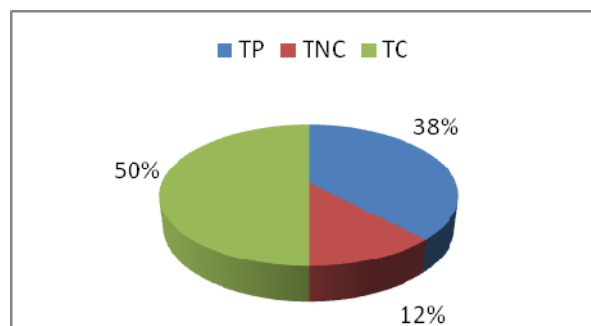


Grafico 12. Estudio de niveles de actividad cuadrilla de asentado de ladrillos con maquina (Operarios)

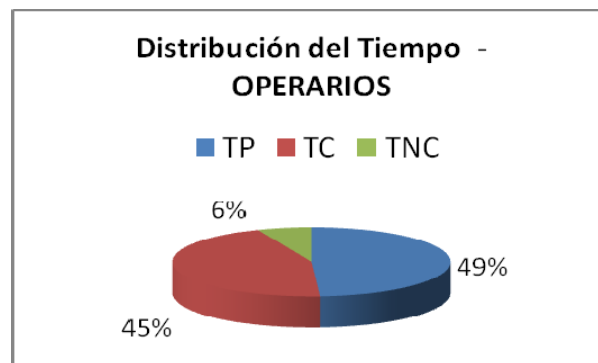
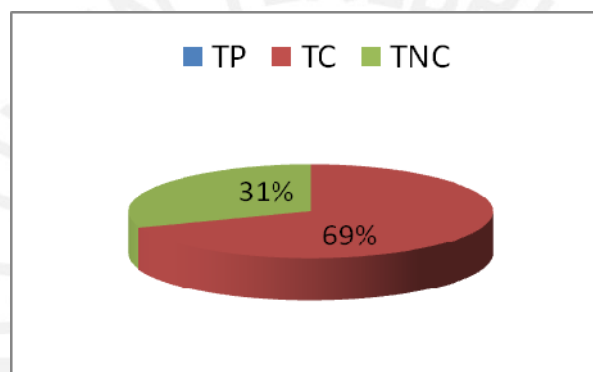


Grafico 13. Estudio de niveles de actividad cuadrilla de asentado de ladrillos con maquina (Ayudantes)



Del mismo modo se apreciaron mejoras en cuanto a la disminución del desperdicio, luego de implementar el uso de la máquina para cortar ladrillos se volvieron a realizar inspecciones de campo para verificar la cantidad de residuos generados en los procesos de asentado de ladrillo, observando considerables mejoras como se puede apreciar en la siguiente tabla:

Tabla 3. Resultados evaluación de desperdicio de ladrillo KK con maquina

Ladrillos enteros consumidos	55.00
Ladrillos partidos usados	2.67
Ladrillos partidos consumidos	3.00
TOTAL Ladrillos consumidos (Und)	58.00
TOTAL Ladrillos usados	57.67
Desperdicio (%)	0.58%
Ladrillos consumidos/m2	37.57
Ladrillos colocados/m2	37.35

Es decir, al cortar las unidades de ladrillo en lugar de romperlas se reducen prácticamente todos los residuos de proceso generados por la actividad. Aun se puede apreciar la generación de un porcentaje mucho menor de desperdicio debido a la existencia de tuberías que obligan a los operarios a romper algunos ladrillos para permitirles el pase.

Adicionalmente a esta modificación del proceso de asentado de ladrillo durante la ejecución del proyecto se tomaron medidas de gestión tales como restringir la cantidad de unidades transportadas al área de trabajo a las mínimas necesarias y regresar a la zona de almacenamiento original las pocas piezas sobrantes al final de la jornada de tal manera que no quedaran piezas abandonadas cuando la cuadrilla concluya su labor en un determinado ambiente.

Antes del inicio de los trabajos de albañilería en la obra "B" se tomó la decisión de realizar una mejora adicional al proceso, se mandaron fabricar unidades de ladrillo de 23 cm de largo x 12 cm de ancho x 14 cm de altura.

Este incremento en el alto de las piezas tenía como finalidad disminuir la cantidad de hiladas que el operario debe asentar y dado que es al final de cada hilada cuando se necesita realizar un corte se tienen a su vez menor cantidad de piezas cortadas y se disminuye la posibilidad de que operarios nuevos no familiarizados con el proceso establecido durante el proyecto "A" comiencen a cortar unidades nuevamente. La suma de todas estas medidas contribuyó a la disminución del consumo de unidades por metro cuadrado de muro construido como se podrá posteriormente en los resultados del control para la albañilería.

b) Intervención para el mortero:

El mortero es también uno de los materiales que genera la mayor cantidad de desmonte en las obras de construcción como ya se ha mencionado anteriormente, principalmente debido a los residuos de material que se generan durante el proceso de colocación de la mezcla y a los sobrantes de la preparación diaria de mortero.

Precisamente frente a estos residuos se planteo una estrategia de recuperación que permitiera utilizarlos de manera práctica, generando así ahorros y disminuyendo el volumen de material a eliminarse. Para la mezcla sobrante del proceso se planteo recolectarla al final del día de los plásticos que protegen las zonas de trabajo de tarrajeo y almacenarlo en una zona diferente al resto de desmonte, al día siguiente ese mismo material era tamizado para retirar grumos de gran tamaño, el material que pasaba la malla se almacenaba en bolsas y se utilizaba como agregado para la fabricación de cajas de válvulas, poyos de concreto, sardineles de duchas y cualquier otro elemento que no requiera una importante resistencia estructural.

Este material podría utilizarse inclusive como agregado para preparar nuevo mortero para asentado de ladrillos o vaceado de contrapiso si se realizaran las pruebas de pureza necesarias, sin embargo durante el desarrollo de los proyectos todo el volumen sobrante era consumido en las actividades mencionadas por lo que no se desarrollo esta posibilidad.

En cuanto al material de mortero sobrante y aun fresco al final del día, debido a la preparación excesiva de los operarios, se recurrió a una antigua metodología de trabajo de la albañilería, el forjado de los muros.

Se les solicito a todos los albañiles que antes de terminar el día colocaran todo el material que les sobraba en los muros, pero solo como forjado, es decir pañeteado y preparado para darle el acabado con regla al día siguiente. Esta actividad se realizaba en los muros y zonas del cielo raso que la cuadrilla de topografía había marcado previamente con puntos de mayor espesor, es decir donde hubiera entrado una mayor cantidad de material nuevo si no se aprovecharan estos residuos.

c) Intervención para el concreto:

En cuanto al concreto se había establecido que las principales perdidas se producían durante el vaceado de la cimentación, por el uso de la tubería para bombear el material y por los pedidos en exceso que generabas residuos. También como se ha mencionado ya, las modificaciones a los procesos para reducir desperdicios en esta partida se realizaron solo en la obra "B" ya que al inicio del trabajo los procesos de estructuras ya estaban concluyendo en la obra "A".

Con la finalidad de reducir la cantidad de concreto desperdiciado se tomaron medidas como por ejemplo modificar el sistema de vaceado de bomba a grúa, la ventaja de este cambio está en que la grúa no retiene residuos al final del vaceado, además se evita derramar material al cambiar de ubicación las tuberías de concreto ya que la grúa puede soltar el concreto en cualquier zona del área de vaceado.

Las únicas dudas respecto al uso de la grúa se referían a la velocidad de vaceado en zonas altas lo que podría incrementar el costo de la mano de obra, sin embargo el proceso fue planeado de tal manera que fueran los guías de la grúa los que apoyaran con la apertura del balde una vez que se encontrara en su posición, de esta manera se reducía el número de personal necesario en el vaceado y se obtenían ratios de vaceado de hasta 0.81 HH/m³ y un promedio final de 1.17 HH/m³, considerando que en esta partida se cargaron las HH de algunos trabajos de demolición y picados que se tuvieron que realizar es un indicador bastante eficiente e indica que se pueden obtener buenos resultados mediante el uso de la grúa para el vaceado.

La segunda medida tomada para controlar el desperdicio del concreto fue la orden de no pedir más de 2% de volumen de concreto sobre el metrado calculado para el vaciado del día, de esta manera se disminuyen los desperdicios por causa de material sobrante, por último se determino que para los vaciados de muro pantalla, la preparación del terreno se realizaría en dos etapas para reducir el fenómeno de desmoronamiento del terreno, primero la mitad superior con ayuda de un andamio, posteriormente se pañetearía para estabilizarlo y luego proceder con el desquinchado de la zona inferior.

d) Intervención para el acero:

En el caso del acero el principal problema identificado fue el de la modulación para el corte, en este caso por un tema de alza en el precio del acero la empresa ya había adquirido una gran cantidad de varillas de 9.m las cuales debían ser usadas en la obra, en una primera etapa se hizo el intento de establecer en un terreno de propiedad de la empresa un centro de acero prehabilitado donde pudiera optimizarse el corte de las barras y desperdiciar la menor cantidad de material, sin embargo por problemas de incumplimiento del subcontratista esta propuesta no prosperó.

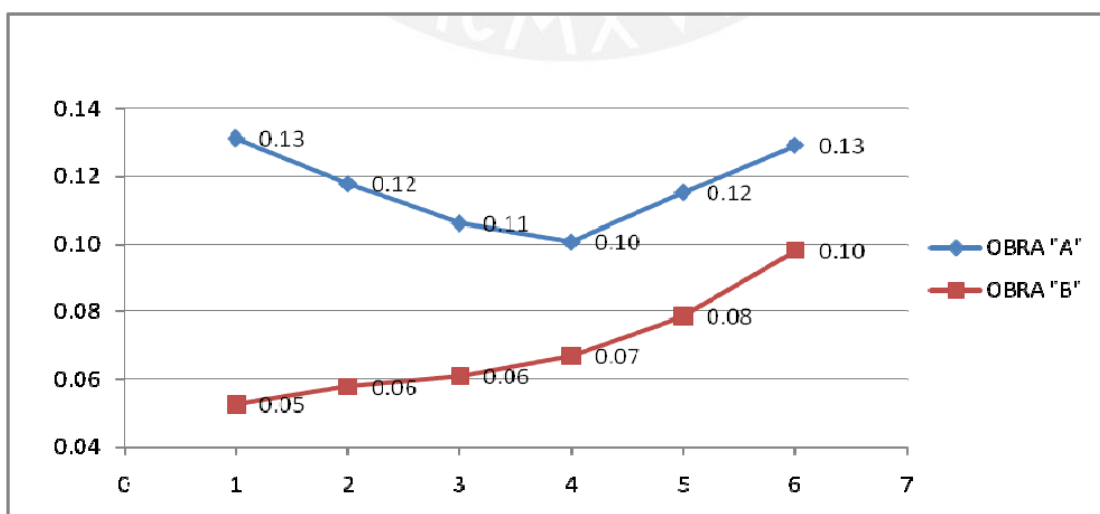
En una segunda etapa, para la construcción de la torre de departamentos se realizó la contratación de la empresa Aceros Arequipa para que se encargaran de la habilitación y el corte del acero, optimizando de esta manera el material, en obra se dirigieron los esfuerzos a garantizar el orden en el material para evitar el uso de piezas en elementos que no correspondían o el corte de piezas útiles para colocarlas en un elemento diferente. Para garantizar el orden se fabricaron caballetes en donde se organizaban los paquetes de acero por elemento durante la descarga del material.

4.5) CONTROL

Con la finalidad de verificar el resultado de las intervenciones que se realizaron en las actividades mencionadas anteriormente y al mismo tiempo para recoger información que permita gestionar de mejor manera los proyectos se mantuvo un continuo levantamiento de información el cual en la segunda etapa de esta investigación (Obra "B") llegó a ser mejorado y revisado en cada reunión semanal del proyecto.

La manera de llevar el control de los desperdicios de materiales fue mediante dos tipos de indicadores, El primero se denominó Índice de Residuo Sólido de Construcción (IRSC) el cual se encarga de medir la evolución de la pérdida directa o el desperdicio que es eliminado de la obra como desmote; La universidad Politécnica de Hong Kong menciona entre algunas de las conclusiones de sus estudios que el volumen promedio de desmote calculado para una edificación es de 0.10 m³/m² techado, tomando este valor como punto de referencia se tomó la decisión de introducir este indicador en la gestión de los proyectos "A" y "B".

Grafico 14. Índice de RSC (m³ Eliminado/m² techado)



El gráfico presenta la evolución del indicador en ambas obras mes a mes, debido a que las obras se realizaron en diferentes épocas se ha elegido tomar como referencia para compararlas el punto de quiebre del indicador que es el mes en que se termina la etapa de estructuras, como ese momento se deja de agregar m² al total y se siguen agregando m³ eliminados correspondientes a los residuos de la albañilería, en ese momento ambas curvas cambian de pendiente, dicho punto de quiebre se da en el mes denominado en el gráfico como 4.

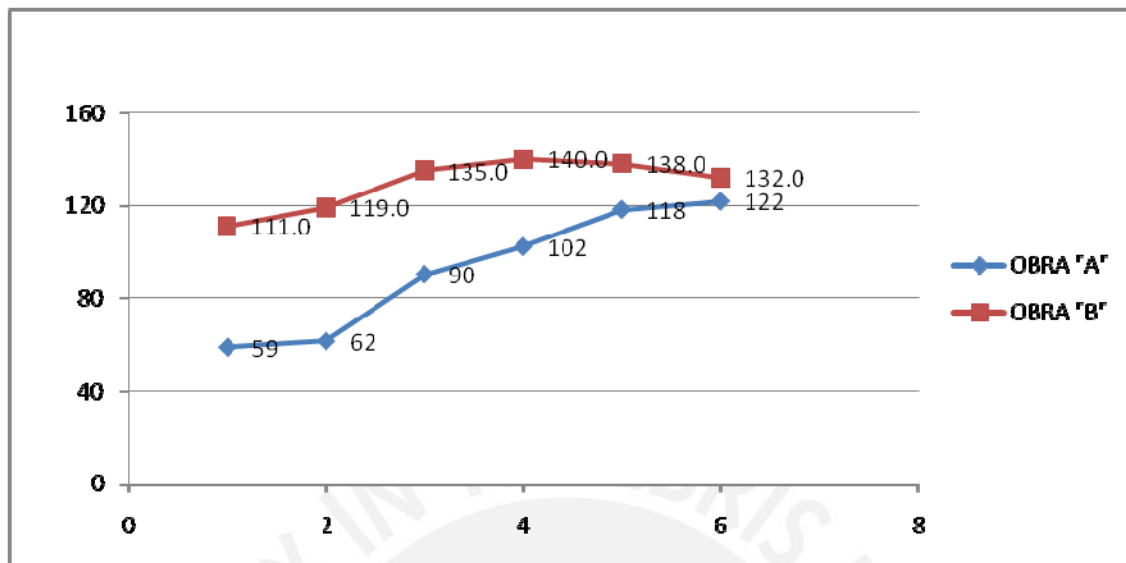
Como se puede apreciar en la curva perteneciente a la obra "A" se reflejan los resultados de las mejoras que se plantearon en las intervenciones, por ejemplo durante el mes 2 se inicio el reciclaje y reutilización del material de mortero, luego en el mes 3 fue cuando se inicio el corte de ladrillo con la maquina y el forjado de muros con material sobrante del día, finalmente en el mes 4 se ve que la consolidación de todas estas medidas reduce el indicador hasta 0.10m³/m². Sin embargo, al terminarse el techado de toda la estructura y continuar generando desperdicios de albañilería el indicador tiene a subir naturalmente para terminar el proyecto con un valor de 0.13m³/m².

En la curva del proyecto "B" por otro lado se puede apreciar que todas las medidas desarrolladas en el proyecto "A" surgen efecto y sumadas a la implementación de los ladrillos de mayor altura y al uso de la grúa para el vaceado se obtienen valores mucho menores. Lo esperado para esta grafica en vista de que las medidas de reducción fueron constantes habría sido mantener un nivel de desperdicio estable hasta el mes 4 en que terminara el techado de la estructura y que posteriormente se elevara hasta su valor final.

Este comportamiento puede explicarse por el hecho del ingreso de una cuadrilla de albañilería adicional para acelerar el avance de la obra, es decir, en un principio no se estaba produciendo tanto metrado de albañilería como se había planificado y posteriormente se incremento con la inclusión de mas operarios con lo que se realizaron trabajos de dos pisos a la vez, generando el doble de desperdicio. Luego en el mes 4 el indicador se eleva mucho mas como es natural hasta alcanzar un valor final de 0.10 m³/m².

La mejora durante el proyecto "A" con la progresiva implementación de las medidas descritas y luego en el proyecto "B" con la consolidación y el control de ellas es evidente. Con la finalidad de construir un gráfico que no tuviera la influencia de los m² techados y que no generara un punto de quiebre se desarrollo un indicador adicional que relaciona las HH trabajadas de albañilería y estructuras con los m³ de desmonte eliminados.

Grafico 15. Índice de RSC (HH Trabajadas/m3 eliminado)



Esta forma diferente de presentar los datos muestra una tendencia similar a la presentada inicialmente, confirmando algunas de las observaciones realizadas, para la obra "A" se aprecia la tendencia progresiva a la mejora, pero esta vez en vista que el indicador no depende de los m² techados se aprecia que el índice se estabiliza después del mes 4.

Para la obra "B" este indicador nos muestra algo más interesante, se aprecia que en una primera etapa luego de mantenerse estable el indicador sube, esto puede ser también debido al incremento de personal realizando trabajos de albañilería, sin embargo la relación entre cantidad de horas hombres trabajadas y desperdicio generado es mayor debido a las buenas prácticas establecidas, lo que se evidencia en el resultado final del primer indicador.

Posteriormente el indicador se estabiliza y baja cuando la cantidad de personal comienza a reducirse y cada vez se realiza limpieza de obra con mayor holgura de tiempo hasta terminar en un valor de 132 HH trabajadas por cada m³ de desmonte producido, superior al valor obtenido en el primer proyecto.

Además de utilizar estos IRSC se establecieron durante el proyecto indicadores de productividad de materiales (IPM) que permitieron a la residencia mantener control continuo sobre el resultado de su gestión e identificar puntos de mejora o aspectos en cuales se debían corregir procedimientos.

Este IPM se abastecía de información de almacén, de donde se obtiene los saldos semanales de los materiales a controlar con el apoyo del asistente de almacén y los capataces de cada cuadrilla se pudieron obtener a manera de reporte los consumos semanales, otro dato importante para este control era el avance semanal, para este caso se utilizó el mismo valor que los ingenieros de campo entregaban semanalmente para desarrollar el indicador de productividad de mano de obra. Los datos se ingresaban en el siguiente formato:

Ilustración 5. Control de desperdicio de materiales

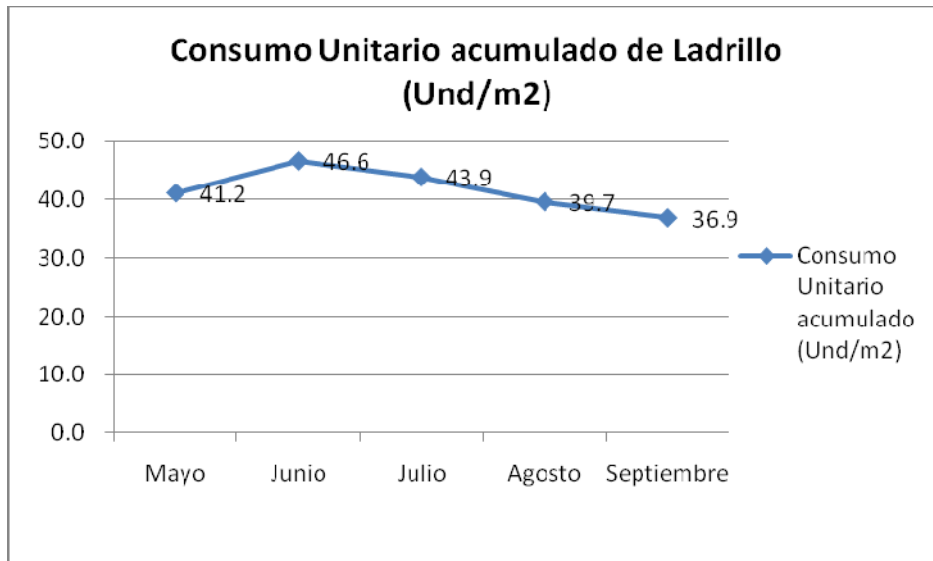
GESTIÓN DE DESPERDICIOS												
Obra: Malecon Cisneros												
Indices Globales												
ENTER	Semana 27 lun, 29/06 sáb, 04/07	Semana 28 lun, 06/07 sáb, 11/07	Semana 29 lun, 13/07 sáb, 18/07	Semana 30 lun, 20/07 sáb, 25/07	Semana 31 lun, 27/07 sáb, 01/08	Semana 32 lun, 03/08 sáb, 08/08	Semana 33 lun, 10/08 sáb, 15/08	Semana 34 lun, 17/08 sáb, 22/08	Semana 35 lun, 24/08 sáb, 29/08	Semana 36 lun, 31/08 sáb, 05/09	Semana 37 lun, 07/09 sáb, 12/09	Semana 38 lun, 14/09 sáb, 19/09
Concreto Premezclado (Torre)												
Consumo Semanal(m3)	69.00	122.00	132.00	90.50	107.00	111.50	179.50	160.00	157.50	171.50	167.00	159.50
Consumo Acumulado (m3)	69.00	191.00	323.00	413.50	520.50	632.00	811.50	971.50	1,129.00	1,300.50	1,467.50	1,627.00
Avance Semanal (m3)	68.93	117.50	130.03	90.19	105.34	109.93	177.28	154.13	157.46	157.34	165.42	157.63
Avance Acumulado (m3)	68.93	186.43	316.46	406.65	511.99	621.92	799.20	953.33	1,110.79	1,268.13	1,433.55	1,591.18
Desperdicio (%)	0.10%	3.83%	1.52%	0.34%	1.58%	1.43%	1.25%	3.81%	0.03%	9.00%	0.96%	1.19%
Desperdicio Acumulado (%)	0.10%	2.45%	2.07%	1.68%	1.66%	1.62%	1.54%	1.91%	1.64%	2.55%	2.37%	2.25%

Luego para cada partida, la información volcada en las tablas se trasladaba a gráficos que iban describiendo el comportamiento del consumo de materiales, el cual se analizó en cada caso a lo largo de todo el proyecto, enriqueciendo de esta manera la gestión de los responsables de la obra.

a) Ladrillo:

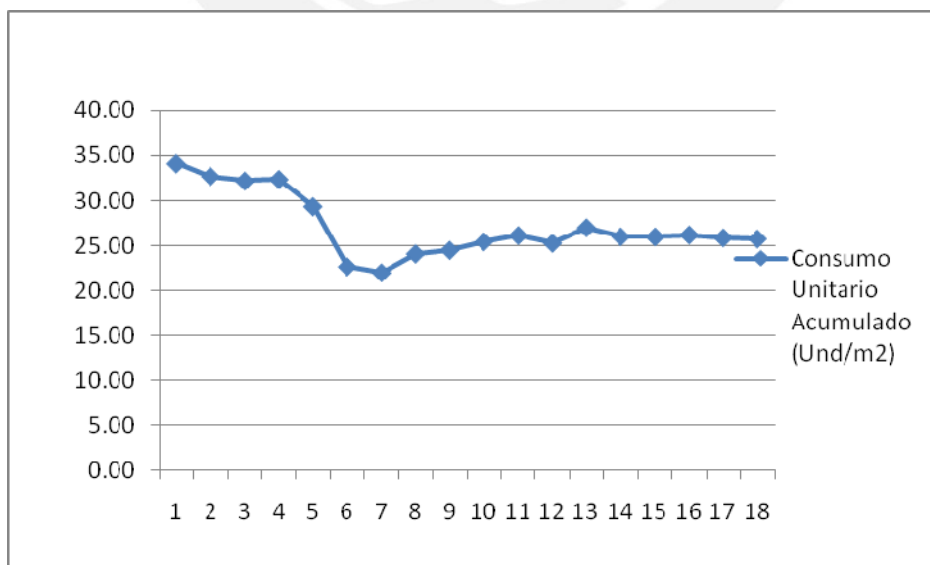
El seguimiento que se hizo del ladrillo tiene dos etapas, el primero correspondiente al proyecto “A” en donde se fueron implementando las medidas de mejora en cuanto al corte de ladrillo y al orden de las unidades sobrantes, el índice de productividad de material en este caso se estimó mensualmente y se comportó de la siguiente manera:

Grafico 16. Evolución del consumo de unidades de ladrillo KK



En la grafica se puede apreciar claramente la mejora progresiva en el ratio de consumo de material conforme el procedimiento de asentado de ladrillos se fue modificando y los trabajadores aceptaron el cambio en el proceso constructivo. En una segunda etapa, durante la ejecución del proyecto “B” el control se paso a realizar semanalmente, para ser discutido en las reuniones de obra. Cabe recordar que para el inicio de esta obra se mandaron fabricar ladrillos King Kong de arcilla de 14 cm. x de altura con la finalidad de reducir aún más el desperdicio, obteniendo el siguiente resultado:

Grafico 17. Evolución del consumo de unidades de ladrillo KK (14 cm de h)



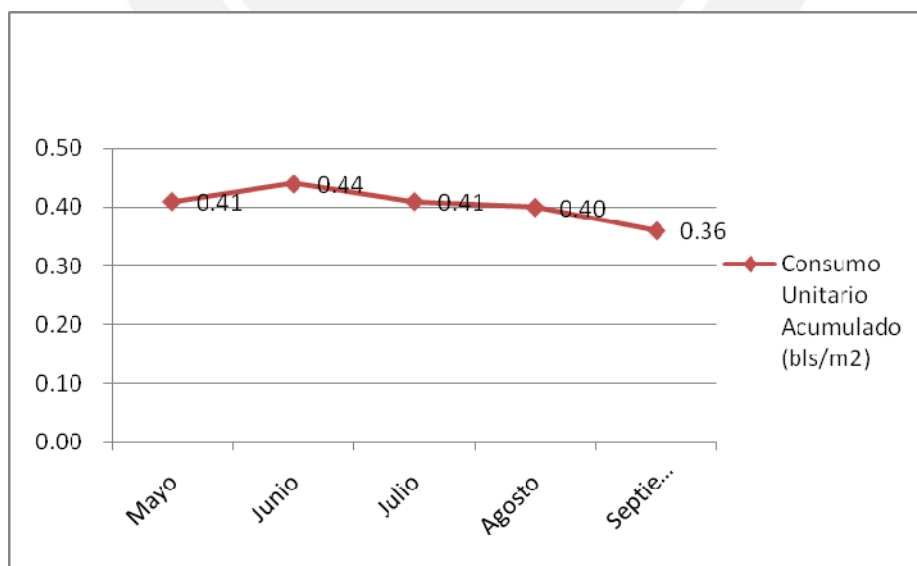
En este gráfico se puede apreciar que inicialmente el consumo de unidades de ladrillo por metro cuadrado de muro construido estaba entre 32 y 34 unidades, sin embargo se observó que en las zonas de la obra donde había trabajado los albañiles se encontraban unidades de ladrillo abandonadas, esto sugirió que los operarios estaban sacando una cantidad de ladrillos mayor a la que necesitaban, por este motivo se fueron reduciendo los despachos de ladrillo King Kong, de esta manera se redujo el consumo a alrededor de 26 unidades por metro cuadrado.

De esta manera queda demostrado que mientras mayor cantidad de material salga de almacén con mayor facilidad será desperdiciado, este es otro motivo que le da importancia a estos sistemas de control ya que permiten calibrar la cantidad de material que será realmente necesario despachar por unidad de avance.

b) Cemento:

En el caso del cemento es necesario analizar por separado cada partida en la que se utiliza este material ya que la gestión debe individualizarse y cada proceso tiene sus propias características. El primer rubro que se analizó fue el cemento utilizado para el asentado de ladrillos, en el proyecto "A" se obtuvieron los siguientes resultados:

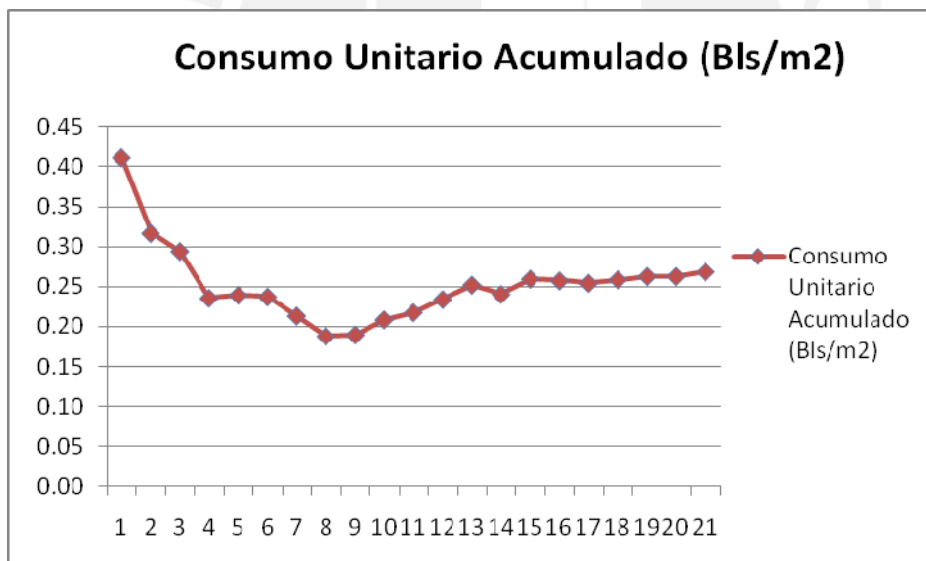
Grafico 18. Evolución del consumo de bolsas de cemento para asentado de ladrillo en obra "A"



El consumo de cemento estimado en el presupuesto para esta partida fue de 0.19 bls/m², como se puede apreciar el consumo real medido en campo para esta obra termino siendo de 0.36 bls/m², esto significa un desperdicio de casi el 90%. El equipo del proyecto logro reducir el indicador de 0.44 bls/m² en el mes de junio a 0.36 bls/m² en el mes de septiembre debido a que se observó que en campo los trabajadores estaban cometiendo un error en la mezcla del mortero, en lugar de mezclar proporciones de 5:1 como lo requerían las especificaciones técnicas lo hacían 4:1 según indicaciones del maestro de obra.

Adicionalmente el equipo de obra estimo que las pérdidas debido al mortero que ingresa por los alveolos de la unidad durante el asentado son considerables y afectan este indicador. No se pudieron apreciar pérdidas directas significativas por lo que se asume que estos fueron los principales motivos del elevado consumo. Se realizo un seguimiento similar durante el proyecto "B" los resultados se muestran en el siguiente grafico:

Grafico 19. Evolución del consumo de bolsas de cemento para asentado de ladrillo en obra "B"



En este caso se inicio el proyecto con un valor de consumo muy alto las primeras semanas, similar al de la obra "A", en base a la experiencia adquirida en el proyecto anterior el equipo de obra pudo identificar el mismo problema, pese a que la mayoría de los operarios y el jefe de grupo eran los mismos que habían trabajado en el primer proyecto, sin embargo se pudo corregir el defecto con mayor rapidez que en el caso anterior y los valores de consumo descendieron.

El valor meta de consumo definido en el presupuesto fue de 0.19 bls/m² ya que estaba proyectado que esta obra se trabajara con ladrillos de dimensiones tradicionales, sin embargo al tratarse de ladrillos de mayor altura, los cuales permitían tener una menor cantidad de hiladas y por ende menos capas de mortero en toda la altura del muro se esperaba tener un consumo de material mucho menor.

Pese a esto los valores finales de consumo real oscilaron alrededor de 0.26 bls/m² mucho más de lo considerado en el presupuesto (42% de desperdicio), estos resultados llevaron al equipo de obra a pensar que la pérdida indirecta para el cemento de asentado de ladrillo es bastante alta, una vez más la explicación se baso en la cantidad de mortero que penetra en los alveolos y queda atrapada dentro de la unidad con la finalidad de brindar mayor amarre entre los bloques de arcilla colocados.

Los trabajadores del proyecto señalaron que al ser unidades de mayor tamaño y peso era necesario colocar una mayor cantidad de mortero para que al asentar el ladrillo la cama de mortero no fuera aplastada y el mortero no cayera al piso.

La siguiente partida en la cual se controlo el uso de cemento fue el tarrajeo de muros, aquí se obtienen resultados muy interesantes al comparar los gráficos de ambas obras:

Grafico 20. Evolución del consumo de bolsas de cemento en la partida de tarrajeo de muros obra "A"

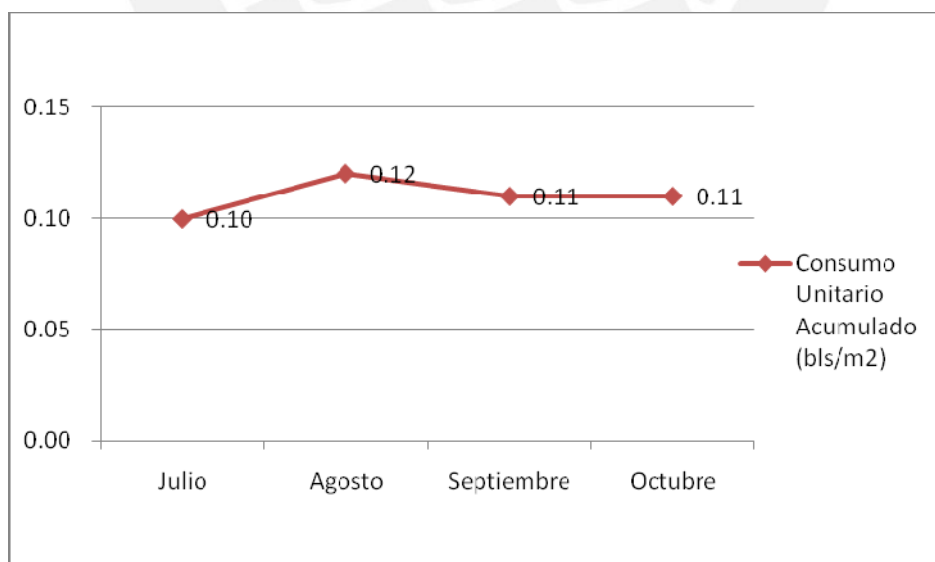
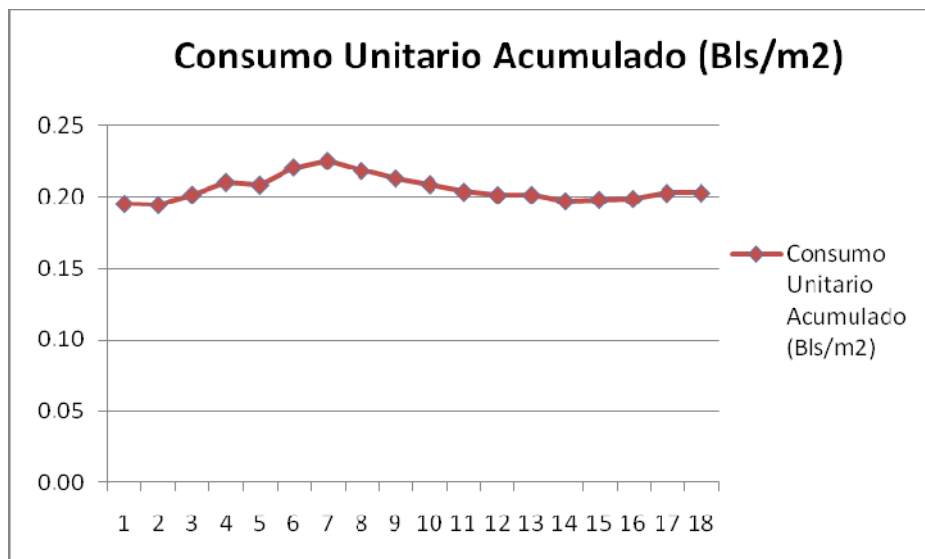


Grafico 21. Evolución del consumo de bolsas de cemento en la partida de tarrajeo de muros obra "B"



La primera grafica corresponde a la obra "A" mientras que la segundo se trata de información del proyecto "B". En primer lugar es preciso señalar que para ambas obras el presupuesto del proyecto indicaba que el consumo esperado de bolsas de cemento por metro cuadrado era de 0.19, es curioso que se trate del mismo ratio por metro cuadrado que se utiliza para el consumo de cemento para asentado de ladrillo a pesar de ser dos tipos de uso del mortero totalmente diferentes y dos procesos constructivos que no guardan nada en común, esto nos llevaría a pensar que el indicador meta es un ratio que no guarda ningún sustento técnico sino que se ha ido transmitiendo y utilizando debido a la experiencia.

Al analizar los resultados de las obras se puede apreciar gran diferencia entre los consumos promedios de ambos proyectos (casi el doble) y gran similitud y estabilidad en la forma de las curvas. La diferencia entre las obras está en la perdida indirecta y ocurre básicamente debido al tipo de muros a tarrajar, mientras que en la primera obra se vaciaron aproximadamente 1,628.52 m³ de concreto en placas y se construyeron 3,539.77 m² de muro de ladrillo en la obra "B" se colocaron tan solo 594.32 m³ de concreto en placas y se levantaron 8,385.38 m² de muro de ladrillo KK. Se podría pensar entonces que el consumo de mortero en muros de ladrillo es más irregular que el que se puede lograr con un buen acabado de placas de concreto.

La siguiente partida en la que se realizó seguimiento de consumo del cemento fue el tarrajeo del cielorraso, a continuación se presentan los resultados para ambos proyectos:

Gráfico 22. Evolución del consumo de bolsas de cemento en la partida de tarrajeo de cielorraso obra "A"

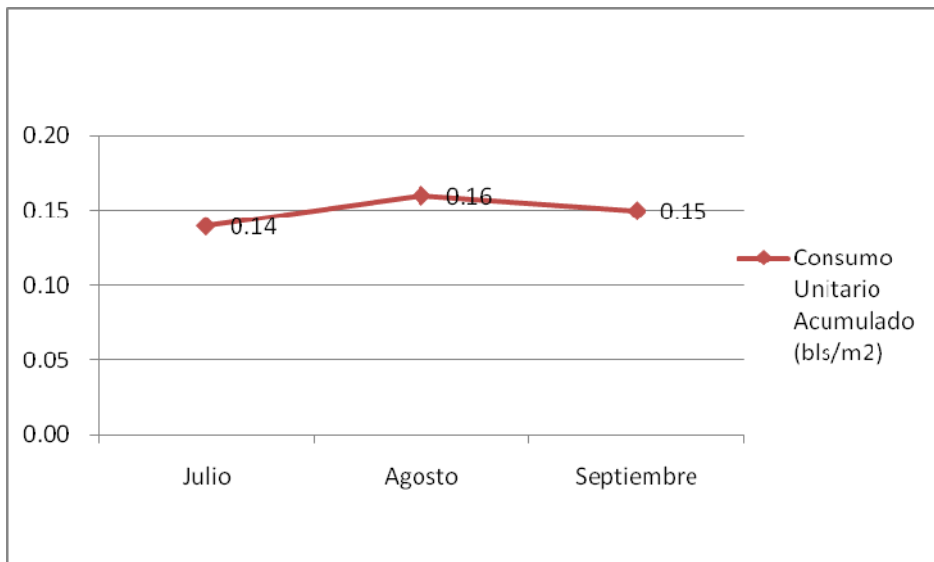
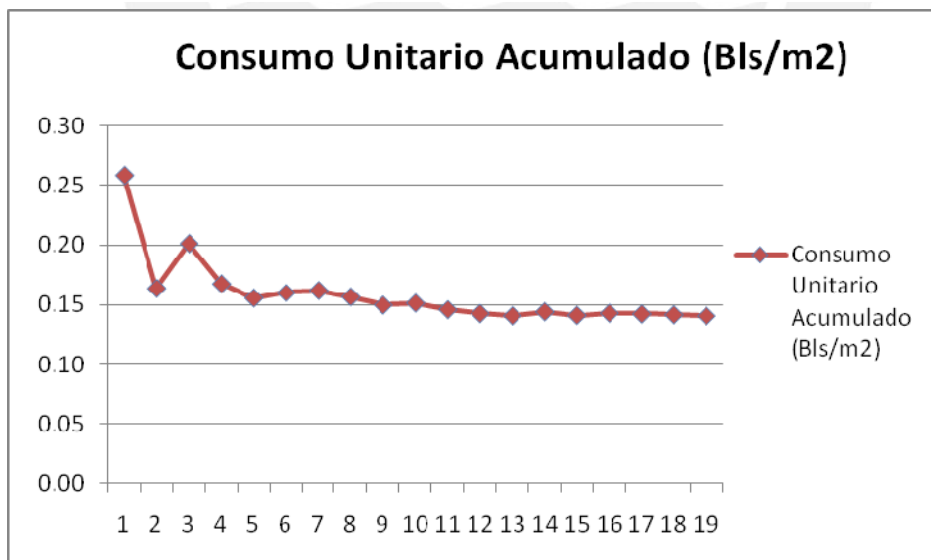


Gráfico 23. Evolución del consumo de bolsas de cemento en la partida de tarrajeo de cielorraso obra "B"



Una de las primeras conclusiones que se pueden sacar de estos resultados se refiere al consumo promedio final del material, el cual es muy similar tanto en el primer gráfico correspondiente a la obra "A" (0.15 bls/m²) como en el segundo correspondiente a la obra "B" (0.14 bls/m²), las ligeras variaciones pueden deberse a irregularidades en la losa, como ductos o superficies imperfectas que son particulares de cada proyecto, sin embargo al ser superficies similares, a diferencia del tarrajeo de muros, en ambos proyectos se tiene un promedio parecido.

Analizando cada gráfico independientemente se puede comentar que el resultado de la obra "A" se muestra estable a lo largo de todo el proyecto mientras que el proyecto "B" presenta picos de consumo alto, los cuales se deben a sobreabastecimiento de material por parte de los capataces, el cual se fue regulando conforme se pudo calibrar en obra la cantidad de cemento necesario por metro cuadrado.

Para el presupuesto de ambos proyectos se considero un consumo unitario de 0.13 bolsas por metro cuadrado de tarrajeo, valor cercano al obtenido en la realidad, sin embargo está por debajo de lo que en realizado se necesito para concluir con las obras.

c) Concreto:

En el caso del concreto premezclado se trabajó en tres etapas independientes para el proyecto "B" la primera correspondiente al muro pantalla, la segunda a los sótanos y la tercera a la torre, el vaciado de las dos primeras fases se realizó con bomba, mientras que para la torre se utilizó la grúa, a continuación se presentan los gráficos finales:

Gráfico 24. Evolución del consumo de concreto premezclado obra "B"

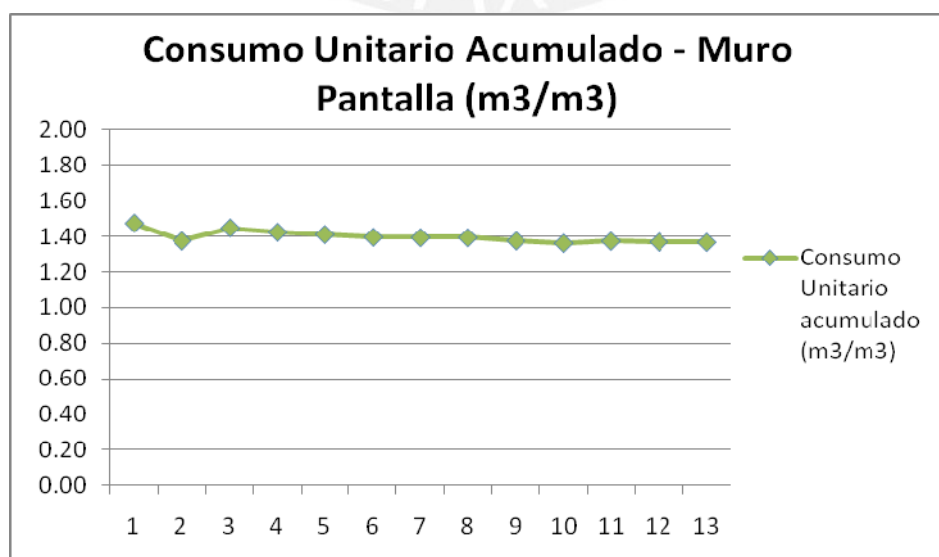


Grafico 25. Evolución del consumo de concreto premezclado obra "B" (sótanos)

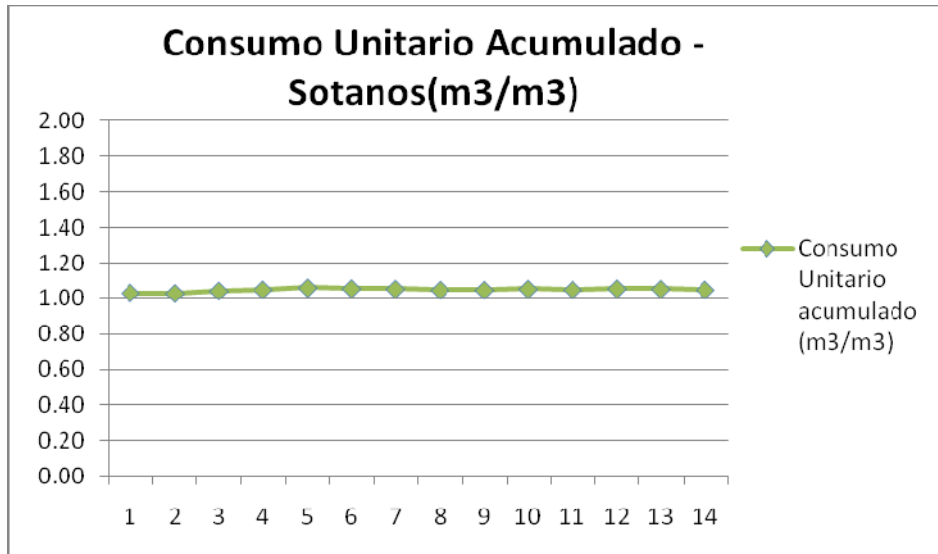
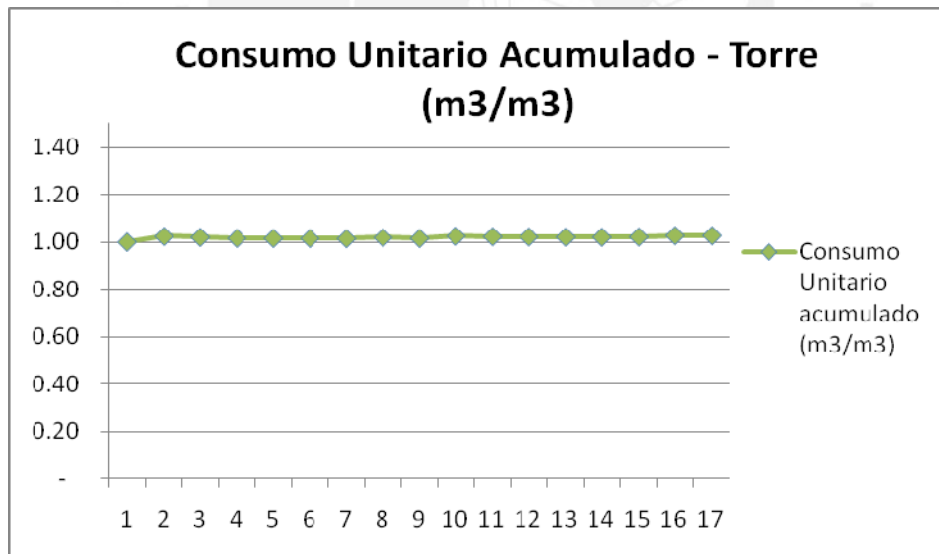


Grafico 26. Evolución del consumo de concreto premezclado obra "B" (Torre)



Queda claro al inspeccionar los resultados de las tres etapas que es durante el vaceado de los muros pantalla donde se produjo el mayor desperdicio de material, el problema ocurre en el proceso de desquinchado del terreno previo a la colocación de la armadura de refuerzo, les resultaba muy difícil a los operarios lograr retirar manualmente la cantidad exacta de terreno que permita un espesor de muro pantalla de 30 cm tal y como mandaba el plano de estructuras, debido al desmoronamiento del terreno se producen consumos que producen desperdicio de hasta 47%.

Para la etapa de muro pantalla el presupuesto del proyecto había asumido un desperdicio final promedio de 40%, gracias a la curva de aprendizaje de los operarios del proceso de desquinchado y a la modificación de este procedimiento, pasando de realizarlo en una sola etapa a realizarlo en dos como se explico previamente se logro reducir el desperdicio a un promedio final de 37%.

Durante la etapa de sótanos se utilizo bomba de concreto para el vaceado de las estructuras lo que incremento las pérdidas esperadas debido al material que quedaba atrapado en la manguera y en la batea. Para esta etapa se obtuvo un desperdicio final promedio del 5%, igual al monto propuesto por el presupuesto del proyecto.

Respecto a los resultados de la torre finalmente se debe comentar como ya se indico que se utilizo un procedimiento distinto al de las etapas previas ya que se implemento el vaceado con grúa tanto para elementos verticales como horizontales reduciendo aun más el desperdicio. Además, gracias a la restricción de los pedidos de concreto a volúmenes adicionales no mayores a 2% se obtuvo un desperdicio final promedio de la etapa de 2.8%.

El desperdicio adicional al 2% mencionado se debió a la única restricción observada para esta forma de vaciar, la antigüedad de la grúa era un peligro constante ya que una falla del equipo podría paralizar el vaceado, lo que ocurrió en dos ocasiones distintas obligando a devolver alrededor de 30 m³ por este motivo y produciendo desperdicios de 9% y 9.7 % respectivamente en las semanas en que sucedieron dichas paralizaciones.

d) Acero:

Para el acero de refuerzo también se controló el consumo del material durante las tres diferentes etapas de la obra, muro pantalla, sótano de estacionamientos y torre de departamentos, se obtuvieron los siguientes resultados:

Grafico 27. Evolución del consumo de Acero en partidas de estructuras obra "B"

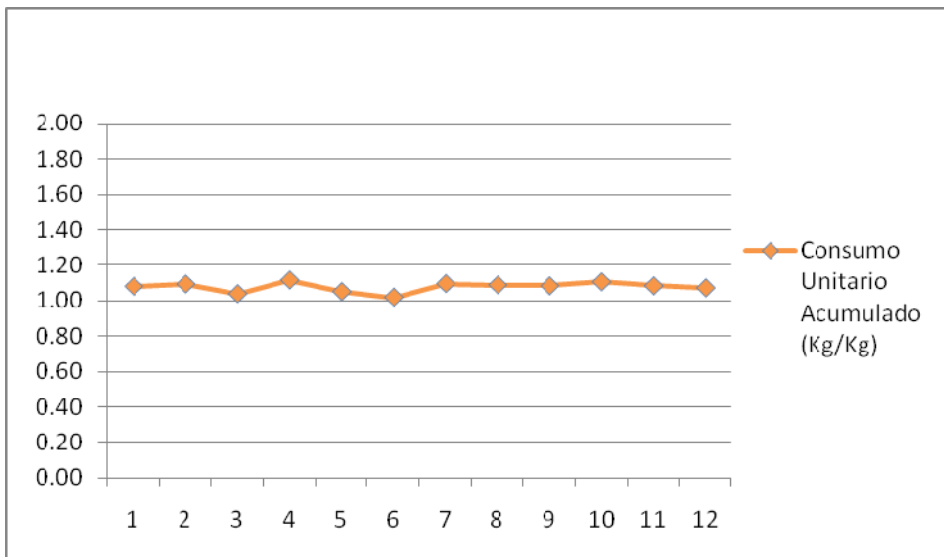


Grafico 28. Evolución del consumo de acero en partidas de estructuras obra "B" (sótanos)

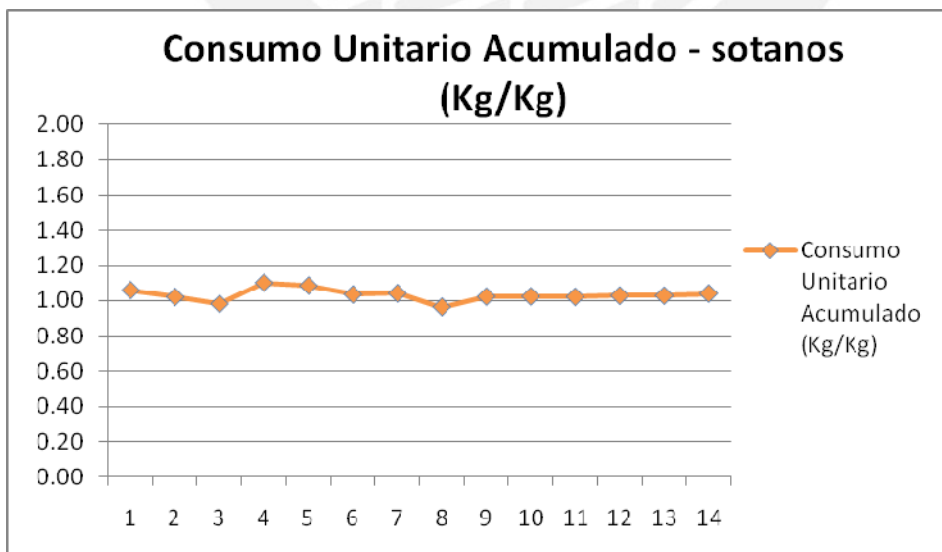
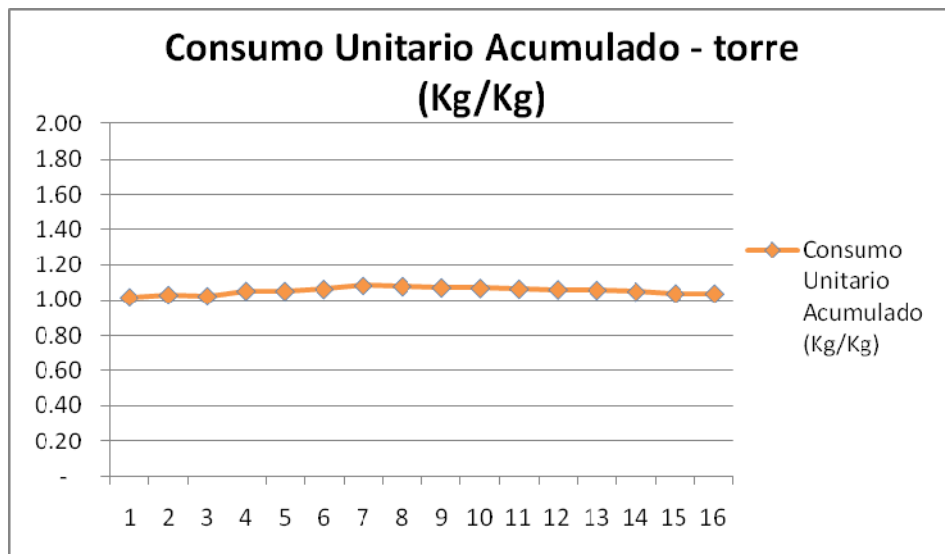


Grafico 29. Evolución del consumo de acero en partidas de estructuras obra "B" (Torre)



Para la primera etapa de la obra (la correspondiente al muro pantalla) el presupuesto del proyecto estimaba un desperdicio final promedio de 15%, sin embargo, el valor final obtenido en realidad fue de 7%. La razón por la cual se obtuvo un resultado mucho mejor al esperado es que se reemplazo el refuerzo indicado para los muros pantallas dispuesta en barras de acero amarradas con alambre por su equivalente en mallas electro soldadas marca PRODAC, al ser estas mallas prefabricadas se reduce la cantidad de desperdicio que se produciría por corte de varillas, sin embargo debido a la presencia de refuerzo de columnas dentro de algunos muros pantallas y refuerzos adicionales a la malla electro soldada si era necesario realizar el corte de algunas varillas.

En el segundo grafico se aprecia el resultado para la etapa de sótanos, el porcentaje de desperdicio final promedio es de 4.04% cuando lo proyectado por el presupuesto fue de 7%, durante esta etapa se logro utilizar la técnica del prearmado para mejorar el control del uso del material, para esta metodología los elementos verticales y horizontales eran armados por completo en el banco para posteriormente ser izados por la grúa y colocados en su lugar donde los operarios solamente los aseguraban.

Durante la etapa de sótanos se combino el uso de acero dimensionado provisto por aceros Arequipa y el uso de varillas de 9 m. las cuales eran habilitadas según planos por una empresa subcontratada en otro terreno de la empresa y luego enviadas a obra según solicitud del ingeniero de campo.

Las demoras en las entregas y los errores en la habilitación del material provocaron que se concluyera con dicho contrato y se pasara a trabajar hacia el final de la etapa de sótanos y el inicio de la torre mayoritariamente con la empresa Aceros Arequipa y con el personal contratado por la casa. Se estimó alrededor de 2 toneladas de material habilitado por la empresa subcontratista que no pudo ser utilizado en obra debido a que las dimensiones no correspondían a lo que se necesitaba.

Finalmente para la etapa de la torre de departamentos se observó un nivel de desperdicio estable que culminó con un promedio de 3.75%. En este caso el uso de acero pre-dimensionado contribuyó a obtener este bajo nivel de desperdicio, las pérdidas fueron causadas por los cortes de los bastones adicionales que eran preparados en obra así como algunas entregas por parte de Aceros Arequipa que llegaron tarde y se tuvo que habilitar varillas de 9.m para culminar con la tarea a tiempo, quedando el acero habilitado entregado posteriormente inútil.

Durante esta etapa también se utilizó el sistema de prearmado pero solo para elementos verticales ya que por motivos técnicos no era posible aplicarlo a las vigas



CAPITULO 5

CONCLUSIONES

5.1) CONCLUSIONES GENERALES:

a) *Es posible reducir los niveles de desperdicio de las obras de edificio minimizando así el impacto que pueden llegar a tener en el medio que las rodea.*

Comparación Índice de Residuos Sólidos de Construcción		
Valor Promedio Universidad Politécnica de Hong Kong	Valor Promedio Obra A	Valor Promedio Obra B
m3 Desmonte/m2 techado	m3 Desmonte/m2 techado	m3 Desmonte/m2 techado
0.10	0.13	0.10

La universidad politécnica de Hong Kong determino un valor promedio para los residuos de construcción generados por las obras. Este índice es de 0.10 m3 de desmonte por cada m2 techado, entre las 13 obras analizadas por esta institución se obtuvieron valores que oscilaban entre los 0.07 m3/m2 y los 0.15 m3/m2.

En el caso de esta investigación se obtuvieron, para el proyecto A valores de desperdicio promedio mayores a los índices presentados por la Universidad de Hong Kong, pese a que se tomaron medidas durante el proyecto que contribuyeron significativamente a disminuir el volumen de desmonte generado, sin embargo, al ser acciones desarrolladas sobre la marcha de la obra no lograron impactar lo suficiente como para llegar a obtener resultados de 0.10 m3/m2, aunque si quedo demostrado la factibilidad de reducir el desmonte mediante, la reducción de residuos como las sobras de ladrillo y el reúso de materiales como el mortero sobrante.

Los resultados obtenidos en el proyecto B por otro lado demuestran que una adecuada planificación desde el inicio de una obra y un buen control de los residuos sólidos durante la ejecución del proyecto pueden llevar a la obtención de muchos mejores resultados en cuanto a la gestión de desperdicios, en esta obra, pese a tener una mayor participación de la albañilería (causante de la mayor parte de los residuos sólidos) que el proyecto B generó menor cantidad de residuos sólidos que la obra A, igualando los resultados promedio obtenidos por la Universidad Politécnica de Hong Kong.

Asumiendo que el proyecto B hubiera tenido resultados similares a los valores promedio de la obra A (pese a que los resultados de esta obra también fueron mejorados) si no se hubiera realizado ninguna intervención se habrían producido, limpiado, eliminado y acopiado 350 m³ adicionales de desperdicio generando un impacto significativo en el medio ambiente no solo por el volumen de residuos sino por la contaminación derivada del transporte de dichos desperdicios hasta los botaderos.

Sería posible e interesante continuar reduciendo aun mas los niveles de desperdicio de los proyectos, como se menciona anteriormente en Hong Kong se midieron niveles de desperdicio de hasta 0.07 m³/m² en obras típicas sin ningún tipo de intervención, esto indica que aún queda mucho desperdicio potencial en nuestros procesos que puede irse reduciendo paulatinamente hasta llevar la huella ecológica de nuestras edificaciones al mínimo.

b) Al reducir los desperdicios de materiales se mejora la productividad de la mano de obra

Es evidente que cuando se consume mayor cantidad de material en algún proceso se están destinando esfuerzos innecesarios al transporte, preparación, colocación o limpieza sin agregarle ningún valor adicional al producto final.

En ese sentido es importante considerar la pérdida directa y la indirecta al analizar la productividad de mano de obra de una cuadrilla, en la actividad de tarrajeo de muros por ejemplo, un operario que está colocando un espesor de tarrajeo mayor al especificado ¿estaría realizando un trabajo productivo o improductivo? Si definimos al trabajo productivo como toda aquella actividad que le agrega valor al producto final entonces la respuesta sería negativa pese a que en apariencia el obrero pueda estar trabajando eficientemente.

Del mismo modo un albañil que está generando residuos de ladrillo al cortar las unidades realiza trabajo contributorio y a la vez incrementa la tarea de limpieza de los ayudantes. El presente estudio mostró que al eliminar la generación de residuos, el operario convierte el trabajo contributorio en productivo y el ayudante reduce el tiempo utilizado en trabajos no contributorios al realizar mayor cantidad de tareas que contribuyen con la construcción del producto final.

c) La reducción de los desperdicios significa beneficios económicos para la empresa

Existen diferentes beneficios económicos que derivan de la disminución de los desperdicios de materiales, se debe considerar por ejemplo la reducción en el costo de limpieza y disposición final de desechos así como el ahorro en materiales y mano de obra gastados inútilmente.

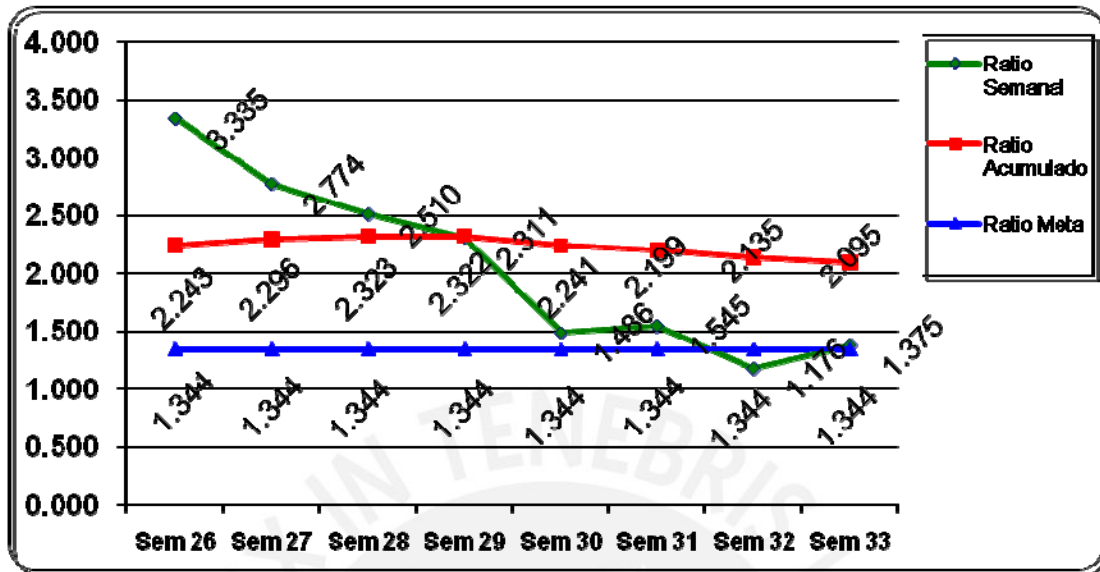
Ya se ha estimado anteriormente que el proyecto B dejó de generar alrededor de 350 m³ de desmonte, el ahorro por dejar de eliminar este volumen de basura fue de alrededor de S./ 6,300 considerando un costo por disposición final de residuos sólidos de 18 soles/m³. En cuanto al ahorro en HH de limpieza de obra se puede estimar que si la obra generaba alrededor de 29 m³ de desmonte semanal entonces se han dejado de gastar el equivalente a 12 semanas de trabajo en limpieza y si a su vez cada semana se gastaban en promedio 203HH de limpieza esto significa que se han dejado de consumir 2,436 HH o el equivalente a S./ 28,428 si consideramos un costo de HH de 11.67 soles/HH.

Entre los materiales de mayor valor económico tal cual se ha mencionado anteriormente se encuentran el concreto y el acero. Según las mediciones presentadas en la obra B solo en sótanos se desperdició un 37% de material o un equivalente a 183 m³, si se estima un P.U promedio de 250 soles las pérdidas se traducen a 47,750 soles, en la comparación entre el vaciado de sótanos y el de la torre (bomba y grúa) se puede apreciar que existe un ahorro de 2.14% en desperdicio (pudiendo ser mayor si no fuera por las fallas mecánicas de la grúa), es decir de haber utilizado un sistema de bomba tradicional durante la construcción de la torre de departamentos las pérdidas habrían sido superiores en 12,500 soles.

En cuanto al acero de refuerzo se logró un 3% de ahorro frente al presupuesto en la etapa de sótanos y un 8 % en la etapa de muro pantalla, mientras que se superó en un 1% lo esperado para la torre de departamentos, el resultado de esta gestión fue una ganancia de 11,250 soles.

Adicionalmente se tienen las mejoras en la productividad de la mano de obra que son difíciles de cuantificar ya que habría que determinar cuánto del rendimiento final de la cuadrilla corresponde a la reducción de desperdicios. En el caso del ladrillo por ejemplo para el proyecto A se presentó una disminución del trabajo no productivo de 23% a 12%, en el siguiente gráfico se puede apreciar el impacto de la modificación del trabajo productivo en el índice de productividad para la partida de muros de albañilería. Si se considera un valor promedio de 13 soles por HH este gráfico nos presenta un ahorro de 1.92 soles por m² de muro de ladrillo

Grafico 1. Evolución de la productividad de mano de obra para la partida de asentado de ladrillo



5.2) RECOMENDACIONES PARA FUTURAS LINEAS DE INVESTIGACION:

Esta tesis brinda aspectos generales respecto al control de desperdicios en dos obras de construcción ejecutadas a lo largo de dos años, sin embargo aún queda mucho potencial por investigar dentro de este campo, que por la gran cantidad de tiempo y de observación que requiere ha sido aun poco trabajado por investigadores en nuestro país.

En países como Brasil se establecieron programas en donde se asignaban estudiantes de pregrado a un gran número de obras para realizar el seguimiento de los consumos de materiales y las causas de desperdicio con la finalidad de tener una base de datos mucho mayor y más representativa.

También sería interesante realizar la comparación de los datos obtenidos en el presente trabajo con los que se pueden obtener en otros tipos de proyectos como por ejemplo viviendas económicas, centros comerciales, centros educativos, etc. Y de esa manera ir conformando para nuestro país un espectro de indicadores que pueda servirle a los profesionales responsables de las obras para su gestión.

Finalmente, otro aspecto interesante sobre el cual se ha tratado en este trabajo y que podría merecer un trabajo de profundización es la relación directa que existe entre el desperdicio de materiales y el desperdicio de mano de obra, valorar esos costos puede brindar mayor peso aun a la necesidad del control de los materiales.



BIBLIOGRAFIA

- SCHENINI, Pedro Carlos; ZUCCARELLI B., Antonio Marius “Gestão de Resíduos da Construção Civil” en *COBRAC* 2004.
- COSTA, Adriano L; FORMOSO, Carlos T. “Perdas Na Construção Civil – Uma Proposta Conceitual e Ferramentas Para Prevenção” en *ENTAC* 1998.
- FORMOSO, Carlos T; DE CESARE, Claudia M. “As Perdas Na Construção Civil: Conceitos, Classificações e Seu Papel Na Melhoria Do Setor” 1998.
- FORMOSO, Carlos T; JOBIM, Margaret S.S et AL “Perdas De Materiais Na construção De edificações: Estudo Em Canteiros De Obras No Estado Do Rio Grande Do Sul”, Sao Paulo 1998.
- FORMOSO, Carlos T; ISATTO, Eduardo; HIROTA, Ercilia “Method For waste Control In the Building Industry” en *IGLC* 2007.
- FORMOSO, Carlos T; ISATTO, Eduardo “A Nova Filosofia Da Produção E A Redução Da Perdas Na Construção Civil” en *ENTAC* 1998.
- PALIARI, Jose Carlos “Metodologia Para A Coleta E Analise De Informações Sobre Consumos E Perdas De Materiais E Componentes Nos Canteiros De Obras De Edifícios” Sao Paulo, 1999.
- PALIARI, Jose Carlos; LEMES DE SOUZA, Ubiraci “Sistema Gesconmat:A Redução Das Perdas De Blocos” en *ENTAC* 2006.
- PIRES, Rosa; DE MELO, Peixoto; ET AL “Proposta De Uma Classificação De Perdas Para A Construção Civil” Sao Paulo, 1998.
- PIRES, Rosa “Perdas Na Construção Civil: Diretrizes E Ferramentas Para Controle” Porto Alegre, 2001.
- SOIBELMAN, Lucio “As Perdas De Materiais Na Construção De Edificações: Sua Incidencia E Seu Controle” Porto Alegre, 1993.

- FORMOSO, Carlos T; SOIBELMAN, Lucio ET AL “Material Waste In Building Industry: Main Causes And Prevention” en *Journal Of Construction Engineering And Management*, Julio/Agosto 2002.
- BOSSINK, A.G; BROUWERS, H.J.H “Construction Waste: Quantification And Source Evaluation” en *Journal Of Construction Engineering And Management*, Marzo 1996.
- GHIO, Virgilio “Productividad En Obras De Construccion: Diagnostico, Critica y Propuesta” Lima, 2001.
- VALDIVIA, Sonia “Instrumentos De Gestión Ambiental Para El Sector Construcción” Lima, 2009.

