UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

Desarrollo de un método para reducir el desperdicio de concreto en
cimentaciones profundas contra terreno con el método constructivo Top To
Down

TESIS

Para optar el título profesional de Ingeniero Civil

AUTORES

Bendezu Pizarro, Rubén Alberto ([0000-0002-1928-9612](#))

Guevara Meza, Maggalie Jennifer ([0000-0002-8010-9406](#))

ASESOR

Rodríguez Dionisio, Sandra ([0000-0002-5308-6923](#))

Lima, 17 de enero de 2019

DEDICATORIA

La presente tesis, se la dedicamos a nuestros padres, quienes han estado involucrados en el desarrollo de nuestra formación académica y han participado constantemente mediante sus enseñanzas, consejos y compañía. Además, han estado siempre presentes en nuestros éxitos y fracasos, mostrándonos su apoyo incondicional y alentándonos a superar cualquier obstáculo para continuar en busca de nuestras metas. Mediante el desarrollo de esta presente tesis estamos por cumplir un hito muy importante y significativo en nuestra vida profesional, el cual es el primero de muchos otros que están por venir. Nuestros padres merecen les dediquemos este esfuerzo que también lleva parte de sus esfuerzos, porque fueron ellos quienes nos dieron las oportunidades que agradecemos y aprovechamos; y por las cuales nos graduamos como Ingenieros Civiles.

AGRADECIMIENTOS

A nuestros padres; agradecerles su incondicional apoyo que nos han brindado desde siempre; y por su contribución a nuestra formación académica mediante sus consejos, enseñanzas de toda la vida y su amor por la familia y trabajo. Gracias a ellos somos ingenieros; y estamos logrando las metas que nos hemos propuesto en nuestras vidas en el ámbito laboral y académico.

Además, agradecer a nuestros hermanos, quienes nos han alentado a seguir desarrollándonos profesionalmente.

RESUMEN

La presente tesina pretende desarrollar un método para reducir el desperdicio de concreto en cimentaciones profundas contra terreno ejecutadas mediante el método constructivo “top to down”. Estas cimentaciones, específicamente pilotes y muros pantalla, se caracterizan por no contar con encofrado o una sección regular; por lo que, el volumen de concreto a emplear es muy variable; y por ende el desperdicio de concreto será variable entre un elemento y otro. Esta variabilidad se debe a factores como: exactitud de la excavadora o maquina a emplear, tipo de terreno, experiencia del personal, margen de desperdicio histórico de la organización.

A lo largo de un proyecto se prevé un porcentaje de desperdicio de sus recursos, para así poder tener el costo estimado en la ejecución de partidas. Sin embargo, el estimado puede ser un valor muy lejano al real; ya que, no se cuenta con factores que se darán in situ, como pueden ser, exactitud de la maquinaria a emplear, tipo de terreno, experiencia del personal, entre otros; siendo así, de gran importancia sincerar el desperdicio considerado al inicio de un proyecto. En la presente tesina, se pretende sincerar el valor del factor inicial de desperdicio de concreto; es decir, aplicar una mejora continua al proceso, esto se logra mediante recopilación de datos vinculados al proceso, identificación del problema y de la causa raíz.

Palabras Claves: Cimentaciones profundas; Cuchara Bivalva; Cut and Cover; EDI; Lodo Bentónico; Método Top to Down; Muro guía; Muros pantalla; Sinergia.

Development of a method to reduce the waste of concrete in deep foundations
against land with the Top To Down construction method

ABSTRACT

This thesis aims to develop a method to reduce the waste of concrete in deep foundations against land with the top down constructive method. These foundations, specifically piles and screen walls, do not have formwork or a regular section; so they are very variable in their excavation and therefore in the wasted concrete.

Throughout a project, an estimate of the waste of its resources is calculated in order to have the estimated cost in the execution of its items. However, the estimate can be a value very far from the real one; since, it does not count on factors that will be given in situ, such as, accuracy of the machinery to be used, type of terrain, experience of the personnel, among others; being thus of great importance to make the waste considered at the beginning of a project. In the present thesis, it is tried to sincere the value of the initial factor, that guarantees to cover the waste that can be given during the constructive process for different reasons; that is, applying continuous improvement to the process, this is achieved by collecting data linked to the process, identifying the problem and the root cause.

Keywords: Deep Foundations; Grapple Bucket; Cut and Cover; EDI; Bentonite sludge; Top to Down method; Guiding wall; Screen walls; Synergy.

TABLA DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Realidad problemática	3
1.3 Formulación del Problema	4
1.4 Hipótesis	4
1.5 Objetivo General.....	4
1.6 Objetivos Específicos	4
2. CAPITULO I: MARCO TEORICO	5
2.1 Conceptos generales	5
2.2 Productividad en obras: Herramientas de Mejora Continua	8
2.3. Metodología DMAIC y Factor de Mejora	13
3. CAPITULO II: MATERIALES Y MÉTODOS	17
3.1 Materiales	17
3.1.1 Población	17
3.1.2 Muestra	24
3.1.3 Muros pantalla: Procedimiento Constructivo	29
3.2 Metodología de investigación	39
3.2.1 Nivel de investigación	39
3.2.2 Diseño de investigación.	39
3.2.3 Variables de Estudio	40
3.2.4 Técnicas e instrumentos de recolección y procesamiento de datos	41
4. CAPITULO III: DESARROLLO DEL MÉTODO	43
4.1 Aplicación de la Mejora Continua	43
4.2 Desarrollo del método	61
4.2.1 Incorporar a los involucrados al Proceso	61
4.2.2 Mediciones.....	62
4.2.2.1 Volumen de Descabezados	66
4.2.2.2 Volumen del Mixer	66
5. CAPITULO IV: APLICACIÓN DEL MÉTODO	70
5.1 Validación del método	70
5.2 Aplicación y resultados.....	74

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	78
7. REFERENCIAS	81
8. ANEXOS	82

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Porcentaje de Desperdicio de Concreto en el Túnel Benavides	1
Tabla 2 Porcentaje de Desperdicio de Concreto en Estaciones	2
Tabla 3 Descripción del Ciclo de Deming	9
Tabla 4 Simbología del Flujoograma	12
Tabla 5 Variables en estudio	41
Tabla 6 Análisis de incidencia en costo de obras civiles	49
Tabla 7 Lista de partidas (Presupuesto Muros Pantalla)	49
Tabla 8 Clasificación ABC	50
Tabla 9 Descarte de Partidas a Analizar	51
Tabla 10 Calculo factor MEJ	53
Tabla 11 Volumen Concreto Planificado vs. Volumen Real de Concreto	57
Tabla 12 Resumen General de Estaciones Ejecutadas	62
Tabla 13 Recalculo del margen de desperdicio	69
Tabla 14 Formulación de pedido de concreto	73
Tabla 15 Ahorro de concreto en dólares de haberse aplicado el método en todos los módulos E-E	74
Tabla 16 Ahorro de concreto en dólares de haberse aplicado el método en todos los módulos E-E	75

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Círculo de Deming	9
Figura 2. Clasificación del Diagrama de Pareto	11
Figura 3. Túnel del IVD Benavides	18
Figura 4. Implantación de los pilotes.....	19
Figura 5. Perforación de pilotes	20
Figura 6. Excavación del Túnel del IVD Benavides	22
Figura 7. Descabezados Antes de aplicar una mejora	23
Figura 8. Reducción de altura de descabezados	24
Figura 9. Vista 3D de Estación Subterránea	25
Figura 10. Vista en planta de una estación	25
Figura 11. Vista en corte de una estación	26
Figura 12. Vista en corte con elementos estructurales	27
Figura 13. Modulación de las pantallas en una estación común.....	28
Figura 14. Distribución típica de una estación	31
Figura 15. Visualización 3D del Murete guía y el Muro pantalla.	33
Figura 16. Ejemplo de desviación en la excavación que se busca evitar	34
Figura 17. Excavación con Cuchara Bivalva en Estación	35
Figura 18. Desarenado	36
Figura 19. Ejemplo de izaje del acero de refuerzo	37
Figura 20. Proceso constructivo de los Muro Pantalla	38
Figura 21. Vista final de los muros pantalla desde el interior	39
Figura 22. Flujoograma del Desarrollo del Método	46
Figura 23. Diagrama de Pareto de Muro Pantalla.....	50
Figura 24. Diagrama de Ishikawa	60
Figura 25. Vista de Perfil de Muro Pantalla	64
Figura 26. Variación Altura de Descabezados en la Primera Etapa de Implementación	65
Figura 27. Variación Desperdicio Concreto en la Primera Etapa.....	65
Figura 28. Variación de Desperdicio por Etapas	67
Figura 29. Variación de altura de descabezados por etapas	68
Figura 30. Esquema en perfil del Muro pantalla en función del descabezado	72
Figura 31. Desperdicio Producción vs. Desperdicio Productividad	74

Figura 32. Variación de Porcentaje de Desperdicio de concreto en el tiempo	76
Figura 33. Evolución de la Altura de descabezados E-E.....	76

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

Para los proyectos que involucran áreas subterráneas o ambientes subterráneos como pueden ser: túneles, sótanos, pasos a desnivel y estaciones subterráneas, existen diferentes procesos constructivos según las necesidades del proyecto y la profundidad de sus cimentaciones. En la presente tesina nos centraremos en los procesos constructivos que involucran cimentaciones profundas mediante el método constructivo Top To Down. En una obra bajo técnica Top To Down se colocan en primer lugar las paredes perimetrales que sirven para acotar el recinto subterráneo de la edificación y que actuarán a modo de contención y cimentación.

Un proyecto donde se aplicó cimentaciones profundas bajo el proceso constructivo Top To Down, fue el túnel Benavides del proyecto Vías Nuevas de Lima, en el cual, se emplearon pilotes como cimentación; y a su vez formaron parte del muro perimetral, en el cual, los pilotes cumplieron la función de columnas. Una vez vaciados estos elementos se procedió a excavar para luego unir dos pilotes mediante una viga y así sucesivamente hasta finalizar la obra. Este proyecto inicio con un porcentaje de desperdicio según EDI, el cual, se basa en experiencias anteriores; sin embargo, este porcentaje es recalculado en obra, es decir, producción hace el pedido de concreto mediante el criterio que manejen. Esta situación se da en la gran mayoría de proyectos; por lo que se obtiene diferentes desperdicios entre lo planificado y lo ejecutado, como se puede apreciar en la siguiente tabla:

Tabla 1
Porcentaje de Desperdicio de Concreto en el Túnel Benavides

FRENTE	% DESPERDICIO CONCRETO TEORICO	% DESPERDICIO CONCRETO OBTENIDO
1	17	23.6
2	25.2	29.6
3	15.3	22.4
4	15.3	23.2
5	9.4	13.9
Promedio	22.6%	16.4%

Nota: Fuente propia

Por un lado, se tienen muy pocas experiencias de muros pantallas contraterreno bajo el proceso Top to down en Perú. Sin embargo, se tienen las mismas referencias de porcentaje de desperdicio de concreto en los escasos proyectos ejecutados en Lima tal como el Edificio Primera Visión en Magdalena con porcentaje de desperdicios de concreto de 16%, en el cual, se realizaron muros pantalla contra terreno bajo el mismo proceso constructivo.

Por otro lado, tenemos otro proyecto, actualmente en ejecución, donde, se están ejecutando Muros Pantallas. Este proyecto, al igual que el Túnel Benavides, cuenta con cimentaciones profundas. Este proceso consta en la ejecución de algunas partidas como: Excavación de la sección para la cimentación, colocación de armadura, vaciado de concreto; y posteriormente excavación en la zona. La diferencia entre ambos proyectos, se podría resumir, a la sección transversal de los elementos que conforman las cimentaciones profundas; y posteriormente otros elementos estructurales como: columnas, muros, etc. Esto, modifica el procedimiento convencional de proyectos subterráneos reduciendo drásticamente el plazo de ejecución en 70%. En el Proyecto se han concluido con las cimentaciones profundas de algunas estaciones; por lo que, se muestra el porcentaje de desperdicio global en cada una de ellas en la siguiente tabla:

Tabla 2
Porcentaje de Desperdicio de Concreto en Estaciones

ESTACION	% DESPERDICIO CONCRETO
E-A	16.4%
E-B	16.7%
E-C	14.6%
E-D	15.2%

Nota: Fuente propia

Finalmente, como métodos para reducir concreto, se tiene como experiencia previa un método aplicado únicamente a pilotes ejecutados en el proyecto Túnel Benavides en donde aplicando productividad a procesos constructivos con la metodología de la mejora continua se redujo considerablemente el desperdicio de concreto llegando en algunos casos a reducir

de 17 a 3% el desperdicio de concreto. En la presente tesina, se pretende desarrollar un método aplicable a cimentaciones profundas con similares características y obtener porcentajes de desperdicios de alrededor de 10%.

1.2 Realidad problemática

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 la manera de optimizar al máximo sus procesos, logrando una mayor productividad en el uso de sus recursos. En la actualidad, los recursos más controlados por los responsables de los proyectos son la mano de obra, maquinaria relevante y materiales incidentes en el costo. Partiendo del análisis de estos tres rubros se debe determinar en cuál de ellos es necesario enfocarse para aumentar la productividad de la partida en general. Así, nace la necesidad de analizar y estudiar los tres recursos más incidentes de los Muros Pantalla: Excavación, Acero y Concreto. La excavación dependerá básicamente de la maquinaria empleada y de la velocidad de ejecución; y el acero, el cual, es un material muy complejo de controlar. En ese sentido, el recurso incidente que debe ser optimizado es el concreto, cuyo desperdicio es muy variable y dependiente de las irregularidades en el terreno.

Por ello, en los proyectos se busca constantemente optimizar los recursos anteriormente mencionados para así lograr una mayor productividad y reducción de costos, los cuales, al final representar un mayor margen de utilidad para el proyecto; y puede ser aplicable a futuros proyectos. Se hace referencia a futuros proyectos; ya que, las mejoras implementadas en este proyecto servirán para las futuras 23 estaciones aún por ejecutar. Una de las problemáticas, respecto al uso de recursos, se vio en el proceso de “Ejecución de Muros Pantallas” en las estaciones que conforman dicho proyecto; siendo así, el recurso problema a solucionar: Concreto.

1.3 Formulación del Problema

Mediante el desarrollo de un método para reducir el desperdicio de concreto en cimentaciones profundas. ¿Se podrá reducir el desperdicio de concreto en cimentaciones profundas?

1.4 Hipótesis

Se reducirá el desperdicio de concreto en cimentaciones profundas mediante el desarrollo de un método que se detallará en la presente tesina.

1.5 Objetivo General

Desarrollar un método para reducir el desperdicio de concreto en cimentaciones profundas contra terreno con el método constructivo Top To Down mediante la aplicación de mejora continua en el proceso constructivo.

1.6 Objetivos Específicos

- Recopilar Información referente al proceso constructivo de los Muro Pantalla y de la situación actual del proyecto.
- Identificar la partida en la que se puede aplicar una mejora continua.
- Identificar la causa raíz del problema para que se identifique la solución.
- Desarrollar un método permitiendo modificar el factor de reajuste al pedido de concreto sincerando el desperdicio.
- Validar el método desarrollado para reducir el desperdicio de concreto.
- Aplicar el método en los elementos a ejecutar para reducir el desperdicio de concreto en muros pantalla a 10.50%.

2. CAPITULO I: MARCO TEORICO

2.1 Conceptos generales

2.1.1 Productividad

La productividad está definida por dos parámetros, los cuales, son la Producción y los recursos empleados para lograr el producto deseado; esta Producción es directamente proporcional a la productividad e inversamente proporcional a los recursos invertidos. Estos recursos pueden ser: Mano de Obra, maquinaria y equipo, materiales, financieros y tiempo. Entonces, es necesario balancear los recursos invertidos con el resultado obtenido o producto (2007, pp. 102-103). [Arboleda].

$$Productividad = \frac{Producción\ Obtenida}{Recursos\ Empleados}$$

2.1.2 Eficiencia y Eficacia

La eficiencia es la utilización correcta de los recursos empleados para lograr un producto. Mientras que la eficacia es el nivel de cumplimiento de metas u objetivos (2007, pp. 98-99). [Arboleda].

2.1.3 Mejora Continua (Kai Zen)

Como el mismo nombre lo indica, se hace referencia los cambios para mejorar la situación actual; cuya situación, deberá ser medible para luego ser comparable y determinar que se llegó a dar una mejora en el proceso; esta mejora puede ser tomado desde diferentes factores de una actividad, es decir, tomando en cuenta uno o más de los recursos involucrados en una actividad. Este método se basa en hacer partícipes a todos los integrantes de una organización en continuos procesos de mejora a través de pequeños, medianos o grandes aportes; generando una continua participación de todos los involucrados en las actividades. Guerra López (2007) afirma que “La mejora del desempeño depende de la reducción de la variabilidad, logrando que cada una de las personas logre el criterio de desempeño requerido/deseado”. Lo mencionando anteriormente es aplicable a la variabilidad de recursos, siendo estos,

muy variables por factores externos, pero que a medida que se va desarrollando dicha actividad a lo largo del tiempo, se puede mejorar (reducir) dicha variabilidad y se busca mejorar continuamente dicha eficiencia.

2.1.4 Innovación

Hoy en día, la innovación se está considerando como un factor relevante en países del “primer mundo”¹; ya que, no solo hace referencia a la tecnología; si no, sirve para prever necesidades, detectar nuevos productos, procesos y servicios; consideraciones que tendrán una influencia en el costo (2009, pp. 23-26). [Foro consultivo científico y tecnológico, AC]. Para el caso de procesos constructivos, este factor pasa a ser muy relevante; ya que puede, plantear nuevos procesos que repercutirán en la productividad y por consecuencia en el costo del proceso. Como indica el Foro consultivo científico y tecnológico, AC (2009):

“Innovación en procesos: La implementación de un metro de producción o provisión nuevo o con mejoras significativas. Esto incluye los cambios significativos en las técnicas, en el equipo o en el software”.

Quiere decir que, para lograr una “mejor” productividad es necesario implementar nuevas técnicas o modificaciones de las actividades que forman un proceso.

2.1.5 Desperdicios

Lo que se desperdicia en los procesos constructivos es material; por lo que, normalmente se debe incluir o asignar un código para los desperdicios que se generaran en cada actividad; ya que, al ser desperdicios de materiales se pueden cuantificar y a la vez calcular el costo de los desperdicios generados (2007, pp. 164). [Patiño]. Por otro lado, los desperdicios o perdidas se pueden considerar como algo relativo; ya que esto dependerá de una situación en un determinado momento, lo cual, conlleva a tener un rendimiento estimado para dicho momento; siendo así, el desperdicio es todo aquello que se emplee de más superando aquel límite establecido.

¹ Países con un mayor desarrollo tecnológico, económico y social.

A continuación, de acuerdo al autor Taiichi Ohno, se puede clasificar estos tipos de desperdicio en 7 tipos:

- a) **Sobreproducción:** La cantidad de demanda *menor* a la cantidad producida.
- b) **Esperas:** tiempo en que los recursos (mano de obra y maquinaria) se encuentran sin actividad alguna.
- c) **Transportes:** Traslado de materiales, maquinaria, insumos, los cuales, no agregan valor al producto.
- d) **Movimientos:** Las actividades o movimientos *innecesarios* que realizan los trabajadores durante su jornal.
- e) **Productos defectuosos:** Producto que no cumple con los estándares de calidad establecidos y genera costo adicional.
- f) **Inventario:** Costo por almacenamiento; o pérdida o destrucción del material almacenado.
- g) **Del propio proceso:** Actividades innecesarias que pertenecen al proceso de actividades para generar un producto.

Por otro lado, en el libro “Productividad en Obras de Construcción: Diagnóstico, Crítica Y Propuesta”, el autor Virgilio Ghio define 6 *Causas de desperdicio*, como las siguientes:

- a) **Cuadrillas sobredimensionadas:** El personal y equipos *no rinden a su máxima capacidad*; ya que estos son empleados en mayor cantidad a la necesaria.
- b) **Falta de supervisión:** Cuando la mano de obra y/o equipos no son supervisados se dan *bajos rendimientos*.
- c) **Deficiencias en el flujo de materiales:** Una *inadecuada ubicación* de los materiales en obra genera largos desplazamientos de los trabajadores, lo que conlleva a emociones negativas como la desmotivación o fatiga o empleo de equipos para trasladarse.
- d) **Mala distribución de instalaciones en obra:** *Un deficiente layout²* genera mayores desplazamientos, lo cual, conlleva a pérdida de tiempo.

² Distribución en planta de los componentes del proceso o sistema.

e) **Actitud del trabajador:** La *actitud del trabajador* influye directamente en su rendimiento, siendo así, una actitud negativa perjudica la producción.

f) **Falta de manejo en campo:** Deficiencias en la sinergia de las cuadrillas de trabajo puede generar deficiencias en la distribución de recursos, trabajos fuera de la planificación, cruce de actividades de equipos.

2.2 Productividad en obras: Herramientas de Mejora Continua

2.2.1 Brench Marking

Es el proceso de identificar, investigar, comparar y aprender de las buenas practicas impartidas en diferentes sectores de la misma organización o de otras organizaciones. Para ello, se debe analizar el “¿Por qué?” tuvieron éxito aquellas prácticas para luego aplicarlas en los procesos deficientes o para hacerlas aún más eficientes.

Los expertos en el tema recomiendan aplicar esta técnica en Industrias Volubles (los cambios afectan el rendimiento y resultados), con una gestión dirigida a la innovación o cambios; Como se comenta a continuación:

“El benchmarking es un método de análisis del rendimiento y de reingeniería, que se puede definir como la “reconcepción del modo de funcionamiento de una empresa”. El principal interés de un proceso como este es descubrir y estudiar en los mejores lo que se hace mejor en materia de producción, de entrega, de calidad, de elección de los proveedores, etc., para luego reflexionar en la forma de aplicarlo con la mayor eficacia posible en su propia organización.” (2016, pp. 01-02). [DELMERS, FEYS, SÁNCHEZ].

Entonces para optar por una técnica (mejor) a seguir, se deberá definir claramente el objetivo y evaluar los recursos disponibles para lograr dicho objetivo; así como proceder con realizar una planeación, medición o recolección de datos, análisis de estrategia y adaptación. Es así; como se podrá lograr mayor entendimiento de las necesidades de los clientes y la dinámica de los servicios u productos a analizar; y mejorar niveles de desempeño.

2.2.2 Ciclo de Deming

Esta es una técnica, creada por el Dr. Edward Deming, que consiste en plantear, ejecutar y exhibir los resultados de dichas acciones; como indica el autor De La Paz: “Su técnica es sencilla pero poderosa, son simples técnicas de planear, ejecutar y exhibir los resultados de las mismas acciones” (1996, pp. 38-39). [De La Parra Paz]. A continuación, se muestra una imagen resumen del concepto planteado por Deming.

Figura 1. Círculo de Deming

Fuente: Propia

Estos cuatro pasos, según el autor previamente mencionado, se pueden describir de la siguiente manera:

Tabla 3
Descripción del Ciclo de Deming

PLAN	DO	CHECK	ACT
<ul style="list-style-type: none"> • Definir una meta y un método • La meta es lo que define el direccionamiento del plan • La meta es la cuantificación del objeto • Involucrar a los que formarán parte de la ejecución del plan 	<ul style="list-style-type: none"> • Implementación del plan • Capacitación de personal 	<ul style="list-style-type: none"> • Verificar que se está ejecutando el plan como fue diseñado. • Comparar Real vs. Planeado. • Es preferible implementar un sistema de chequeo para prevenir si hay desviaciones. • Actuar y remediar en caso hayan desviaciones. 	<ul style="list-style-type: none"> • En base a los resultados se procede a recopilar lo aprendido en la práctica. • Emitir recomendaciones y observaciones • Una vez cumplido los anteriores puntos se retoma el ciclo.

Nota: Fuente propia

2.2.3 Histograma

Es un gráfico de barras que se da entre dos variables permitiendo conocer el comportamiento de una en función de la otra; este gráfico sirve para controlar gran cantidad de datos que se puedan agrupar y así tener un claro panorama de lo que se busca analizar o comparar (2008 p. 37) [ANDERSON, SWEENEY y WILLIAMS]. Esto se puede lograr en tres pasos:

- Recopilación de Datos.
- Determinar el rango (R) de los datos:

$$R = \text{Valor mayor} - \text{Valor Menor}$$

- Definir el número de intervalos (k):

$$k = 1 + 3.32 \times \log n$$

Siendo n: número de datos.

En caso n sea menor a 30:

$$k = \sqrt{n}$$

- Hallar la amplitud del intervalo (h) mediante:

$$h = \frac{n}{k}$$

- Definir los límites de intervalo, en caso, coincida con el valor mayor del intervalo o el menor, por lo que, se recomienda fijar los valores a la mitad de la precisión de valores.
- Generar una tabla de frecuencias llegando así a los números de intervalos, su amplitud, media y frecuencias.
- Generar el diagrama o gráfico en función a la anterior tabla de frecuencias mencionada.

2.2.4 Diagrama de Pareto

Primero, el Diagrama de Pareto consiste en recopilar datos, los cuales, son considerados los factores a analizar como posibles causas. Estos datos serán agrupados mediante barras de acuerdo a su prioridad y de manera descendente (izquierda a derecha). Logrando así diferencias las causas significativas para luego enfocarse en las mismas, lo cual, daría solución a los problemas de mayor incidencia. Este método permite optimizar los recursos dirigiéndolos hacia la solución de los problemas significativos (1995, pp. 125-127). [GALGANO].

Segundo, estos datos deberán ser agrupados en 3 grupos: A, B y C; estos estarán clasificados de acuerdo a su prioridad siendo:

Figura 2. Clasificación del Diagrama de Pareto

Fuente: Propia

2.2.5 Diagrama de Dispersión

Para este análisis se tienen dos variables con una relación entre sí, de las cuales se realizará un análisis. Por ejemplo: El Costo de un Muro pantalla y el concreto a emplear o La utilidad y el costo directo del proyecto, entre otros.

Los tipos de dispersión se darán de acuerdo a la función de relación entre ambas variables (2000 p. 101-103). [MOORE]. Pudiendo ser estas las siguientes:

Correlación Positiva: Ambas variables son Directamente Proporcionales; es decir, el incremento de una genera el incremento de la otra como en el caso del aumento del área del paño de muro pantalla incrementa el volumen de concreto a pedir.

Correlación Negativa: Ambas variables son Inversamente Proporcionales; es decir, el incremento de una genera la disminución de la otra como en el caso del aumento del Costo Directo que reduce la utilidad del proyecto.

Correlación No Lineal: No existe una relación conocida entre ambas variables, por lo que se emplea para poder detectar una posible relación. Generando así una relación entre ambas mediante una función.

2.2.6 Flujo grama

Es la representación gráfica de una secuencia de proceso, unidos mediante flechas que indican el flujo o secuencia entre una y otra actividad que lo conforma. Permitiendo tener una idea clara de un proceso complejo y la relación entre sí mismos; así como los pasos a seguir (2003 p. 105-107). [FERNÁNDEZ]. Las actividades que conforman el proceso serán representadas en casilleros con formas representativas (para un mejor reconocimiento de la descripción de actividades) como pueden ser:

Tabla 4
Simbología del Flujograma

Símbolo	Descripción
Inicio y Fin del Proceso
Procesos y/o Eventos
Entrada o salida de datos
Pregunta o Condicional

Nota: Fuente propia

2.2.7 Diagrama de Ishikawa

Esta herramienta sirve para controlar las relaciones que se dan entre causa y efecto de un problema; para así, lograr identificar las causas relevantes al problema agrupándolas en seis ramas, las cuales son: Mano de obra, métodos de trabajo, materiales, maquinaria, medio ambiente y medición; estas ramas se denominan las 6M. Es así como se logra centrar las causas con el problema planteado (2016 p. 09-11). [50 MINUTOS].

2.2.8 Graficas de Control

Se emplea en procesos a largo tiempo para poder llevar un control de lo que se busca controlar a lo largo del tiempo. Dicho valor deberá tener límites establecidos y un valor medio, para que al observar un valor fuera de este rango se pueda detectar y resolver el problema que lo ha originado (1990 p. 143-145) [HANSEN; GHARE].

2.2.9 Just in Time

Es una filosofía que busca producir justo lo necesario cuando sea necesario, es decir, tener los recursos exactamente necesarios en un tiempo exacto, evitando desperdiciar recursos. Logrando así eliminar despilfarros, evidenciar los problemas en el sistema y hacer más simple el proceso (2005 p. 2) [AMDT].

2.3. Metodología DMAIC y Factor de Mejora

La metodología DMAIC, por sus siglas en inglés, viene de Definir, Medir, Analizar, Mejorar, y Controlar. Se usa para mejorar un proceso existente. El enfoque DMAIC se centra en los controles para mejorar el proceso, y aunque el enfoque no está en el control de la dirección del proyecto en sí mismo, es clave para conducir y gestionar los proyectos con éxito. Desde la perspectiva de la calidad de la dirección del proyecto, el enfoque DMAIC se puede mapear e integrar con el sistema de dirección del proyecto, donde los esfuerzos se pueden hacer más eficientes para mejorar el propio sistema de dirección del proyecto. Esto significa que la organización realizaría proyectos de mejora para su sistema de dirección de proyectos y lo estructuraría para bajar los defectos, desperdicios y las variaciones en el desempeño, producto o proceso. La metodología básica consiste de los siguientes cinco pasos:

- Definir las metas para mejorar el proceso, que sean consistentes con las demandas del cliente y con la estrategia de la empresa. Las herramientas que pueden servir son: el análisis de los interesados, métodos de encuestas a clientes (grupos foco, entrevistas, etc.).
- Medir los aspectos clave del proceso actual y recabar datos relevantes. Las herramientas que pueden ser útiles son: el diagrama de Pareto, el análisis de modo de fallas y efecto (FMEA).
- Analizar los datos para verificar las relaciones de causa y efecto. Determinar qué relaciones hay, y tratar de asegurarse de considerar todos los factores. Las herramientas que pueden servir son: benchmarking, diagrama de causa y efecto, prueba de supuestos, análisis de regresión, gráficos.
- Mejorar u optimizar el proceso basándose en el análisis de los datos, usando técnicas como el diseño de experimentos. Las herramientas útiles son: el diseño de experimentos y el mapa de cómo será el proceso.
- Controlar para asegurarse de que cualquier desviación del objetivo se va a corregir antes de que resulten defectos. Crear y ejecutar pilotos para establecer la capacidad del proceso, pasarlo a producción, establecer los mecanismos de control, y monitorear continuamente el proceso. Las herramientas que ayudan son: gráficos y plan de control y plan de control.

2.3.1. Identificación de procesos basado en la metodología DMAIC y Factor de Oportunidades y mejoras (MEJ)

a) Identificación de Procesos a Mejorar

Es necesario establecer criterios claros para la selección de los procesos a mejorar, tales como:

- Incidencia en el presupuesto.
- Baja productividad.
- Bajos Índices de desempeño (CPI y SPI).
- Alto porcentaje de saldo por ejecutar.
- Repetitividad.

Teniendo en cuenta los criterios mencionados líneas arriba y el Informe Semanal de Producción (ISP) del proyecto, es posible calcular el Factor de Oportunidad de Mejora (MEJ) de cada proceso a una fecha de corte determinada, utilizando la siguiente fórmula:

$$MEJ = \frac{S (\%) * Inc. (\%)}{CPI * SPI} * 100$$

Donde:

MEJ: Factor de oportunidad de mejora del proceso.

S (%): Saldo por ejecutar del proceso a la fecha de corte determinada.

Inc. (%): Incidencia del proceso respecto al costo total directo previsto.

CPI: Índice de desempeño del costo a la fecha de corte determinada

SPI: Índice de desempeño del cronograma a la fecha de corte determinada

- Identificación de Procesos Críticos

Los procesos que se elijan estudiar a detalle, serán los que posean el mayor valor del factor MEJ, es decir mientras tengan más saldo por ejecutar, más incidente sea el proceso y los índices de desempeño obtenidos a la fecha de corte no sean los adecuados (Menores a 1).

Además, con el fin de obtener mejoras, es importante elegir procesos repetitivos. Los cuales brinden una mayor oportunidad de mejora.

b) Definición de Procesos a Mejorar

- Identificación de Recursos Críticos.

Para la identificación de los recursos críticos para cada proceso, se siguen los siguientes pasos:

-Se analiza la composición del costo unitario del proceso, para lo cual se realiza un diagrama Pareto de los recursos generales (Mano de Obra, equipos, materiales, subcontratos, vehículos).

-Se buscan los recursos incidentes componentes del recurso general seleccionado en el paso anterior (Excavadoras, cargadores, Mano de Obra, etc.), realizando otro diagrama de Pareto.

Teniendo seleccionados los recursos críticos, se procede a la medición de los mismos, con el fin de encontrar las causas de los bajos índices de desempeño encontrados.

- Identificación de Requerimientos del Cliente y Objetivos del Proyecto de Mejora.

Se recomienda analizar y priorizar los requisitos del cliente (Especificaciones técnicas del proyecto) así como obtener indicadores vinculados a los requisitos prioritarios (Por ejemplo: Espesor mínimo de tarrajeo y porcentaje de desperdicio de ladrillos) en función a los cuales se definirán los objetivos del proyecto de mejora (Por ejemplo: Se definirán rangos específicos tanto para el espesor de tarrajeo como para el porcentaje de desperdicio de los ladrillos).

3. CAPITULO II: MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Materiales

3.1.1 Población

Las cimentaciones en general son el conjunto de elementos estructurales cuya misión es transmitir las cargas, de la edificación o elementos apoyados a este, al suelo distribuyéndolas de forma que no superen su presión admisible ni produzcan cargas zonales. Debido a que la resistencia del suelo es, generalmente, menor que la de los pilares o muros que soportará, el área de contacto entre el suelo y la cimentación será proporcionalmente más grande que los elementos soportados.

Las cimentaciones se pueden dividir en directas o profundas. En donde las directas son las zapatas aisladas, zapatas combinadas y losas de cimentación. Las profundas en cambio, se basan en el esfuerzo cortante entre el terreno y la cimentación para soportar las cargas aplicadas, o más exactamente en la fricción vertical entre la cimentación y el terreno.

Algunos métodos utilizados en cimentaciones profundas son las Pilas, Pilotes y los Muros pantalla continuo. Para ello, se puede mencionar la obra Túnel Benavides que forma parte del proyecto Vías Nuevas de Lima.

3.1.1.1 Túnel Benavides

El túnel Benavides forma parte de la Obra mayor IVD Benavides, la cual, es una de obras que conforma al proyecto Vías Nuevas de Lima, el cual, ha sido ejecutado por la empresa Odebrecht Ingeniería & Construcción. Este proyecto tiene como cliente final a la Municipalidad Metropolitana de Lima, la cual, otorgó la concesión a la empresa Rutas de Lima para la Ingeniería, Diseño y procura de las obras a ejecutarse como parte del proyecto Vías Nuevas de Lima. Es en esta parte de obra, túnel Benavides, donde se empleó cimentaciones profundas contra terreno y se siguió el proceso constructivo Top To Down que se detallará más adelante. En la siguiente figura se puede apreciar parte de los pilotes que se pueden apreciar luego de la excavación y vaciado de la losa superior que conforma el techo del túnel.

Figura 3. Túnel del IVD Benavides

Fuente: Odebrecht Ingeniería & Construcción, 2012

Equipamiento y herramientas

- De perforación:
 - Equipamientos de perforación;
 - Varas Kelly
 - Tubos molde recuperables de pared dupla
 - Herramientas de perforación (hélices y baldes Ø 1500mm)
 - Morsa Hidráulica
- De vaciado de concreto
 - Tubos y funil tremie
 - Auto-concretera.

Proceso de ejecución del pilote

El proceso de ejecución comprenderá las siguientes fases:

- a) Plataforma de trabajo
- b) Implantación del pilote;
- c) Posicionamiento del equipo;
- d) Perforación;

- e) Colocación de la armadura;
- f) Instalación de la columna de vaciado de concreto;
- g) Vaciado de concreto.

a) Plataforma de trabajo

La rasante de la plataforma de trabajo, estará situada al menos 2 m. por encima de la máxima cota de nivel freático.

b) Implantación

La implantación comprende la materialización en el terreno del eje de cada pilote, a través de una punta de acero u de madera, posicionada por métodos topográficos. Esta operación será ejecutada después de la plataforma de trabajo estar nivelada y con las condiciones de seguridad adecuadas al tránsito y posicionamiento de los equipos de perforación.

Figura 4. Implantación de los pilotes

Fuente: Propia

c) Posicionamiento del equipo

El equipo de perforación se emplazará en cada punto de replanteo horizontalizando el plano de trabajo (orugas) con los medios necesarios (rellenos, tablonas, etc). Previamente al posicionado en el punto, se colocará la camisa y la morsa en línea con las orugas y con el mástil. Se posiciona la morsa y la herramienta de perforación (hélice o balde) centrada en la estaca de la referencia o eje del pilote.

d) Perforación

Se inicia la perforación una vez verticalizadas las camisas, hincando las mismas. Luego se va perforando por dentro con la hélice o balde. Una vez introducido el tubo en la perforación se comprobará su situación en planta, así como su verticalidad.

En caso de ejecución de perforación de pilotes con lodo bentonítico se utilizarán baldes, pudiendo usarse también core-barrel o hélice progresiva si se justifica para pasar algún obstáculo. Durante la perforación se irá agregando el lodo tixotrópico. El nivel del lodo debe ser tal que en todo momento la presión hidrostática del lodo sea la suficiente para estabilizar las paredes de la perforación y prevenir el ingreso de partículas de suelo en el pozo. En todo momento, durante la perforación y el vaciado, el nivel del lodo debe mantenerse dentro del tubo (o murete) guía y como mínimo 1,50m sobre el nivel de la napa freática externa.

Figura 5. Perforación de pilotes

Fuente: Propia

e) Colocación de la armadura

Verificar la correcta rigidación de la armadura antes de su izaje. La armadura debe ser acercada a la máquina para su izaje. NO arrastrar la armadura desde una posición lejana a la máquina.

Se engancha la armadura con un primer cable de dos puntas con grilletes o ganchos en la parte superior de la armadura (Asas de Izaje), el cual será levantado por el winche auxiliar del equipo o una grúa auxiliar (de acuerdo con su peso), la armadura previamente moldada y montada en tramos con longitudes de acuerdo a lo indicado en el plano del proyecto. En este caso, dado que los pilotes tienen longitudes superiores a 9 ó 12 metros lineales, existe la necesidad de traslapar la armadura. Estos empalmes son ejecutados dejando suspendido el primero tramo de armadura, a través de una barra colocada en la diagonal del taladro y apoyada en el tope del tubo. La unión del primero tramo con el siguiente será ejecutada a través de grilletes e alambre o puntos de soldadura, procediéndose en seguida con el descenso del conjunto dentro de la perforación. Se coloca la armadura dentro de la camisa, evitando siempre colocar las manos en la zona de atrapamiento con la armadura guiándola con cuerdas u otros elementos auxiliares.

Se baja la armadura dentro de la camisa hasta la zona de sujeción del cable y se traba con una viga horizontal contra los tubos. Luego se desconectan los grilletes o ganchos y se coloca un nuevo estrobo de dos puntas con ganchos abiertos para facilitar la extracción de los mismos una vez la armadura este es su posición final.

f) Instalación de la columna de vaciado de concreto

La columna de vaciado de concreto (tubos tremie) será bajada por el interior de la perforación por tramos, centrada en el eje del pilote. La extremidad inferior quedará cerca de 20-30 cm del fondo del taladro, y en su extremidad superior será acoplado el embudo para la recepción del concreto.

g) Vaciado de concreto

Después de verificar que el concreto tiene las características requeridas (slump y dimensión del agregado) se dará inicio al vaciado del concreto de forma ascendente, de bajo para arriba, por descarga directa de la auto-concretera para el embudo. Se hace el control del nivel del concreto mediante una sonda a medida que este va subiendo en el taladro, siendo retirados tramos de columna tremie siempre que necesario, garantizando que esta se mantenga por lo menos 2 metros sumergidos en concreto.

Simultáneamente a esta operación, se van retirando tramos de tubo recuperable, garantizando de la misma forma que la cota inferior de este estará por lo menos 2 metros por debajo de la cota del concreto. El vaciado se dará por terminado cuando el concreto llegue a la cota necesario para el correcto descabezamiento del tope del pilote ($L_{descab} \approx \varnothing_{pilote}$).

Esta obra empleo pilotes como cimentaciones profundas para luego aplicar el método top down, es decir, se ejecutaron los pilotes, los cuales formarían parte de los “muros”; y estarían amarrados a las vigas que soportarían la losa superior o techo del túnel como se puede apreciar en la siguiente imagen:

Figura 6. Excavación del Túnel del IVD Benavides

Fuente: Odebrecht Ingeniería & Construcción, 2012

De este proceso se puede apreciar que hay una irregularidad por parte del terreno, la cual, genera desperdicios. Estos desperdicios buscan ser considerados en el pedido de concreto; por lo que, en las obras con cimentaciones profundas se considera un

gran margen de desperdicio, el cual, en algunos casos, no se logra sincerar u optimizar. Para el proyecto en mención, se buscó sincerar ese desperdicio de concreto; ya que, a medida que se realizaba la excavación, para lo cual, posteriormente se habían ejecutado los pilotes perimetrales que servirían como cimentación y parte visible de la obra (muros), se evidenciaba el desperdicio de concreto en los descabezados. La altura de descabezado era desmesurada en comparación con lo indicado en el EDI del proyecto, como se puede apreciar en la siguiente figura.

Figura 7. Descabezados Antes de aplicar una mejora

Fuente: Propia

Se puede apreciar que los descabezados representan un evidente desperdicio de recursos; por lo que, se buscó reducir el margen de desperdicio mediante técnicas de productividad aplicadas a la mejora continua. Es por ello, que en un lapso no menos a un mes se logró implementar un mejor procedimiento que mostró una evidente mejora como se puede ver a continuación:

Figura 8. Reducción de altura de descabezados

Fuente: Propia

La altura de los descabezados de pilotes disminuyó drásticamente, dejando claro el éxito de la aplicación de mejora continua a procesos. En la obra Túnel Benavides se logró obtener un desperdicio de 3% en comparación con el desperdicio inicial de 17.7% con el que contaba producción.

3.1.2 Muestra

La presente tesina, analizará los muros pantalla, específicamente los muros pantalla de las estaciones del Metro Subterráneo desarrollado en los capítulos siguientes, ejecutadas en meses diferentes y por contratistas diferentes con diferentes dificultades y particularidades en cada estación. Se analizarán los desperdicios de concreto de las diferentes estaciones del Metro Subterráneo que se conforma de la siguiente manera.

3.1.2.1 Estaciones subterráneas del Metro Subterráneo

Las estaciones subterráneas son básicamente similares en su configuración y estructura.

Figura 9. Vista 3D de Estación Subterránea

Fuente: Propia

En este sentido, tenemos que para el estudio correcto de productividad se debe analizar primero las estaciones que serán repetidas en las siguientes etapas. Así, podemos describir la estación A.

La Estación es una estación tipo Cut and Cover con el método Top to Down que se desarrolla en la vertical del eje del túnel. Se ubica en la progresiva 21+381.296 con inicio de andén en la progresiva 21+319.046 y final en la progresiva 21+443.546. En este tramo la alineación del túnel de línea discurre bajo la Carretera. Esta estación posee básicamente la misma configuración que las demás estaciones, con muros pantalla en el perímetro y pilotes en el centro como reforzamiento. Esta configuración conforma la llamada Caja Estación.

Figura 10. Vista en planta de una estación

Fuente: Propia

[illegible]

Fuente: Propia

Figura 12. Vista en corte con elementos estructurales

Fuente: Propia

En el nivel de la calle la estación tiene dos accesos principales para el público que se sitúan a cada lado de la vía en la que se ubican. Los accesos también sirven como cruce subterráneo, por lo que las estaciones poseen como mínimo un acceso a cada lado de la vía en la que se ubican.

El Acceso público 1 está en el lado norte de Carretera sobre la mediana de la Avenida, con el elevador al oeste de la salida. Cuenta con una escalera fija y una escalera mecánica. El Acceso 2 está situado en la vereda de la Carretera en la esquina con la calle, y dispone también de elevador ubicado al otro lado de la calle. Este acceso tiene una escalera fija y dos escaleras mecánicas. Se han dimensionado las salidas para mantener los niveles exigidos tanto para servicio como para evacuación.

Adicionalmente a los accesos habituales de la estación existen cuatro escaleras de evacuación, dos por andén, ubicadas en ambos extremos de andén. Las escaleras de evacuación situadas en el lado este del andén acaban en el prevestíbulo. Las escaleras de evacuación situadas en el lado oeste del andén tienen su salida sobre las veredas laterales de la Carretera.

En el extremo este de la estación, se encuentran las rejillas de ventilación. Ambas, la de impulsión y la de extracción, se han colocado sobre la vereda del lado sur de la vía, respetando los criterios de diseño que obligan a guardar una distancia mínima que impida la contaminación de flujos en función del viento dominante.

El primer nivel de la estación, denominado prevestíbulo, se sitúa aproximadamente a 7.60 m bajo el terreno, entre el nivel de calle y el nivel de vestíbulo de entrada a la estación. Sirve como transición entre las entradas desde calle y vestíbulo y también para cruzar de un lado al otro de la calle, sin entrar en la zona de pago de la estación.

Por el lado de las obras civiles, la configuración es básicamente la misma para todas las estaciones. Ubicando muros pantalla en el perímetro y pilotes en el centro para reforzamiento estructural.

Figura 13. Modulación de las pantallas en una estación común

Fuente: Propia

3.1.3 Muros pantalla: Procedimiento Constructivo

3.1.3.1 Definición y Usos.

Muro pantalla de concreto (in situ concrete diaphragm Wall; Muro Milán o Muro Pantalla Continua) es un muro en concreto armado o no armado, moldeado en una zanja excavada en el suelo. El concreto se coloca en la zanja por bombeo a través de un tubo tremie. Es un tipo de cimentación profunda usado mayormente en procesos constructivos del método Top To Down.

El Muro pantalla o Milán es una estructura de concreto armado, colado en sitio (in situ). Sirve principalmente como apoyo a las cimentaciones o para contener cortes verticales en excavaciones. Sus aplicaciones más utilizadas son; obras subterráneas y túneles urbanos (Metro), sótanos y cajones de cimentación de edificios, estacionamientos subterráneos, muelles, presas, silos, canales de gran sección y cárcamos de bombeo de gran capacidad sistemas de contención de agua subterránea en carreteras y túneles, son de gran ayuda cuando se hacen cortes de terreno en vías, donde la estabilidad del terreno es casi inexistente y para evitar deslizamientos.

Un muro pantalla o pantalla de hormigón in situ es una estructura de contención. Las dimensiones de los paneles que conforman los muros pantalla son entre 2.5 y 8 m de longitud, y 0.40 a 1.5 m de espesor. La longitud o profundidad de la pantalla depende del dimensionamiento de la misma, pudiendo llegar a los 50m sin problemas.

Cada elemento que conforma un muro pantalla trabaja independientemente, y entre ellos presentan juntas que han de ser estancas (evitar el paso de agua a través de las mismas).

El cálculo de las pantallas se suele realizar suponiendo que es una viga empotrada que soporta el empuje de tierras.

El panel es la parte de una pantalla de concreto en un solo bloque. Un panel puede ser rectilíneo, en forma de T o L o de cualquier forma.

3.1.3.2 Proceso Constructivo

Trabajos preliminares para la elaboración de muro pantalla

Para el establecimiento de los planes de ejecución, es necesario obtener la siguiente información:

- Mediante una brigada de topografía, hacer el levantamiento topográfico del predio en el cual se van a ejecutar los trabajos concernientes al muro pantalla.
- Contar con información del uso de suelo anterior del predio.
- Realizar los estudios geotécnicos del predio.
- Obtener información sobre las construcciones adyacentes y tomar las precauciones necesarias para asegurar la estabilidad.
- Obtener datos, ubicación y estado de acometidas de agua, gas, electricidad, teléfono, ductos de combustible etc.
- Obtener información sobre obstáculos en el terreno, vestigios arqueológicos terrenos contaminados restricciones impuestas a la zona en la cual se van a ejecutar los trabajos (vibraciones, ruidos, horarios)
- Ubicación de tiros autorizados para la ubicación del material producto de la excavación.
- Además de la información antes mencionada será necesario obtener datos específicos.
- Niveles piezométricos de todas las capas freáticas.
- Presencia de suelos de grano grueso, muy permeables, con cavernas naturales o artificiales, que puedan producir pérdida de fluido de excavación en inestabilidad en la zanja, además de sobre volumen de concreto.
- Obtener la resistencia y deformabilidad de suelos blandos por medio de pruebas de laboratorio.
- Obtener la resistencia y dureza de suelos, rocas o cualquier material duro que puedan hacer una excavación difícil y tener que recurrir a herramientas especiales.

Figura 14. Distribución típica de una estación

Fuente: Propia

- 1.- Central de lodos
- 2.-Oficina
- 3.-Habilitado y armado de acero
- 4.-Bodega de materiales
- 5-Excavación de muro pantalla con grúa auxiliar
- 6.-Hormigonado o vaciado de concreto de muro pantalla con ayuda de una grúa auxiliar y camiones mixer.
- 7.-Salida
- 8.-Acceso

Trazo y nivelación.

Consiste en marcar sobre el terreno las medidas que se han pensado en el proyecto. Para hacer el trazo y nivelación de la obra se toma como referencia alguna de los muros de las construcciones vecinas en casos de que las haya. Si no hay construcciones adyacentes, es necesario delimitar de forma precisa el terreno y tomar como referencia para el trabajo una de las líneas de colindancia, clavando dos estacas en sus extremos y tendiendo un hilo entre ellas, que no debe moverse en tanto se hace el trazado. Para el trazo se debe de respetar las medidas del terreno para evitar problemas.

Una vez hecho esto, se toma como base esta colindancia, marcando sobre ellas los puntos en los que se van a encontrar los muros perpendiculares a esta.

Para obtener datos con mayor precisión se debe de contar con una brigada de topografía que cuente con una estación total, para que después de obtener la poligonal del predio se pueda hacer un plano con los datos obtenidos.

Construcción del muro guía

Son pequeños muros paralelos de concreto armado provisionales que se construyen encima de donde se va a desplantar en muro pantalla. Tienen cuatro funciones principales:

- 1.- Evitar el hundimiento de la zanja
- 2.- Ubicación y referencia de los paneles.
- 3.- Soporte de los armados y tubería tremie.
- 4.- Guiar la herramienta de excavación

Para su construcción se deberá de contar con carpinteros para colocar la cimbra y equipo de topografía que dará el trazo y nivelación para su correcta ejecución.

El concreto deberá de tener una resistencia mínima de $f'c=200 \text{ Kg/cm}^2$, porque este brocal deberá de contener el peso puntual de las armaduras.

Figura 15. Visualización 3D del Murete guía y el Muro pantalla.

Fuente: Propia

Excavación

Para la excavación, se utilizará una cuchara bivalva soportada por una grúa auxiliar. Siguiendo el siguiente proceso:

En la primera fase de la excavación, en los primeros 11-12m, la cuchara será visible a la hora de excavar, por lo que cada vez que se excave un batache, se puede comprobar, con inclinómetro electrónico (tipo MITUTOYO 950-317 PRO 360 o similar) si está vertical. En esta primera fase la cuchara está confinada por el murete guía, y no tiene posibilidad de cabecear. En la segunda fase de la excavación, cuando la cuchara ya no es visible, pasados los 11-12m de profundidad, la comprobación se realizará mediante la medida de la distancia del cable que sostiene la cuchara, respecto al murete guía. A medida que se va profundizando, la distancia del cable al murete guía, debe de ser constante, sino, durante el proceso de excavación se intentará corregir cambiando la posición de la cuchara, para que rectifique a su posición vertical.

Figura 16. Ejemplo de desviación en la excavación que se busca evitar

Fuente: Propia

Además, para poder efectuar la excavación es necesario contar con una central de lodos. Esta deberá de estar situada dentro de la obra y su función es la fabricación, reciclado y desarenado del fluido de perforación.

La central de lodos debe de contar con tanques de almacenamiento de agua, silos o cárcamos para el almacenamiento del fluido de perforación, un digestor el cual tiene la función de mezclar a alta turbulencia el fluido de perforación, desarenador, bombas sumergibles de con gran carga hidráulica, tuberías, codos, té, manguera, conexiones de 4" de diámetro.

La bentonita o lodo bentonítico es una arcilla que contiene principalmente montmorillonita o minerales similares. Y su función es la de mantener estables las paredes de la perforación durante el proceso de construcción de muro Milán.

Por el tipo de terreno y debido a las condiciones de la obra, se deberá de determinar la dosificación que se utilizará para la elaboración del fluido de perforación.

Este fluido se recicla y regenera y el material residuo se transporta en camiones pipa a tiraderos autorizados.

La solución de bentonita tendrá un valor de cizallamiento suficiente para mantener las partículas de arena en suspensión y mantener estable la excavación.

Figura 17. Excavación con Cuchara Bivalva en Estación

Fuente: Propia

Desarenado

Una vez que se terminó de excavar el panel se procede a desarenar la excavación. Esto consiste en sustituir el fluido de excavación por fluido nuevo. Se recicla o sustituye el lodo que fue utilizado para la perforación.

Esta operación se realiza con una bomba sumergible acoplada en la tubería tremie y colocada en el fondo de la excavación, haciendo variar su posición.

El lodo así bombeado se envía a la unidad de desarenación y, un lodo sano se incorpora al mismo flujo en la parte alta del panel.

Figura 18. Desarenado

Fuente: Propia

Colocación de acero de refuerzo

Los armados de los paneles no descansarán sobre el fondo de la excavación, sino que se deberán de suspender en los brocales.

Los armados serán habilitados en la obra según las especificaciones de los planos aprobados por el cliente.

Una vez armados, se colocarán los ganchos de izaje y de colocación, así como los aceros de rigidez que van a permitir levantar las armaduras sin dañarlas.

Deberán de contar con soldadura de campo en las secciones de traslape, elementos de rigidez y azas de izaje.

Cada armado será verificado y etiquetado para poder identificarlo.

Los armados se bajarán uno después del otro y se quedarán suspendidas en los brocales.

Se debe de tener especial cuidado con los izajes de los armados, revisar exhaustivamente la soldadura de los elementos de izaje y traslapes, colocar tarjetas que identifiquen al armado en los cuales se incluya el panel a que pertenecen, si se tienen traslapes, el peso, y si se liberó por parte de la supervisión.

Se han presentado problemas de ruptura de soldadura de los elementos de izaje cuando están próximos a colocarse en su posición, y lo que procede es bajar el armado

para colocar nuevamente soldadura o colocar más elementos de izaje, esta maniobra es de mucho cuidado, ya que el armado al no tener ese elemento de izaje no se puede manipular de la misma manera, en ocasiones no se puede bajar el armado y se tiene que pedir una grúa de apoyo para realizar esta maniobra tan delicada.

Figura 19. Ejemplo de izaje del acero de refuerzo

Fuente: Propia

Vaciado de concreto

Para vaciar concreto se acoplará la tubería Tremie y se introducirá en los espacios designados dentro de la jaula del armado, procurando anotar la longitud de cada uno de los tubos, esto es para saber cuántos metros de tubería se tienen dentro del concreto fresco.

El concreto se colocará a través de tubería tremie, de manera que se evite la segregación. Este tubo debe de estar limpio y estanco, su diámetro interior deberá ser superior o igual a 0.15 m y el diámetro exterior deberá ser tal que el tubo se mueva

libremente dentro de la jaula del armado. El número de tuberías a utilizar en un mismo panel se limitará a un recorrido horizontal del concreto a 2.5 m, o tener una tubería tremie por cada armado que se coloque en el panel. Cuando se utilicen varios tubos es preciso alimentarlos de manera que el concreto se distribuya de manera uniforme.

En resumen, el proceso constructivo completo se puede apreciar en el siguiente gráfico.

Figura 20. Proceso constructivo de los Muro Pantalla

Fuente: Diaphragm Walls: A Solution For Deep Excavations In Difficult Soil Conditions With Superficial Water Table

En donde:

1. Ejecución de doble murete guía
2. Excavación del Muro Pantalla
3. Colocación del acero de refuerzo
4. Vaciado de Concreto
5. Repetir el proceso

Figura 21. Vista final de los muros pantalla desde el interior

Fuente: Propia

3.2 Metodología de investigación

3.2.1 Nivel de investigación

En la presente tesina se plantea desarrollar un método que permita reducir el desperdicio de concreto. Para ello se empleará el concepto de Mejora Continua, logrando así identificar el verdadero problema; así como las partidas influyentes, factores internos y/o externos, recursos involucrados. El método estará en función a la mejor solución (evaluando factibilidad y costo/beneficio). El nivel de investigación es explicativo porque se busca encontrar el motivo del desperdicio y así reducirlo.

3.2.2 Diseño de investigación.

El diseño de investigación es de campo. Consiste en recolectar los datos directamente del proyecto para así poder encontrar una solución o un método que nos permita reducir el concreto.

Recopilación de Información

Para lograr tener noción del desarrollo del proceso elegido en campo, es decir, el real desarrollo del proceso; se deberá realizar actividades como:

- Inspección en Campo: Identificar a los involucrados en el desarrollo del proceso, entrevistar a él/los responsables en campo.
- Recolección de Información: Se recopilará la información de campo que se ha ido tomando durante el desarrollo del proyecto como, por ejemplo: guías, control de despachos, órdenes de compra, etc. Además, se recopilará la información inicial del proyecto como es el calendario, presupuesto, planos, entre otros.
- Medición: Se tomará tiempo, cantidades reales, rendimientos, entre otros.

Inicialmente, se consideraban los siguientes valores a medir en campo.

- Profundidad real (m)
- Fecha de vaciado
- Volumen pedido (m³)

De donde se desprendían como resultados de un análisis los porcentajes de sobre excavación y desperdicios de concreto estimados.

Sin embargo, para poder desarrollar un método de pedido de concreto más confiable necesitamos conocer a detalle el uso del concreto. En este sentido, se medirá con ayuda de los encargados de campo los siguientes datos:

- Altura descabezado (m)
- Volumen efectivo del muro pantalla (m³)
- Volumen que queda en el mixer (m³)

3.2.3 Variables de Estudio

Se deberá tener pleno conocimiento de los recursos y actividades del proceso a mejorar, es decir, se deberá conocer los resultados reales y los previstos para así poder tener una comparación de lo real vs. Lo planificado.

Se obtendrá de oficina técnica datos como: longitud de pantalla, volúmenes teóricos y datos del Estudio definitivo de ingeniería (EDI). De campo, se obtendrán datos como alturas reales de vaciado, alturas de descabezado, volúmenes reales que ingresan en las pantallas y consecuentemente el porcentaje de desperdicio de concreto por pantalla. En el siguiente cuadro un ejemplo de los datos necesarios obtenidos de campo por estación.

Tabla 5
Variables en estudio

ESTACION	COD MURO PANTALLA	LONGITUD	FECHA DE VACIADO	VOLUMEN TEÓRICO (m3)	ALTURA DESCABEZADO (m)	VOLUMEN PRODUCCION (m3)	VOLUMEN PEDIDO (m3)	VOLUMEN MIXER (m3)	VOLUMEN DE DESCABEZADO O EXCESO (m3)	VOLUMEN EFECTIVO POR PANTALLA (m3)	% DESPERDICIO DE CONCRETO POR IRREGULARIDAD TERRENO	PERDIDAS DE CONCRETO (m3)

Nota: Fuente propia

3.2.4 Técnicas e instrumentos de recolección y procesamiento de datos

Mediciones Iniciales

- Definición de Indicadores Clave Antes de empezar el proceso de medición, se deben identificar los índices y/o ratios a calcular durante el proceso descrito, los mismos que estarán directamente relacionados a los requisitos del cliente (Especificaciones técnicas) y a las causas raíz que originan las improductividades.
- Plan de Recolección de Datos Según la dificultad del proceso a estudiar, se debe establecer un cronograma de recolección y toma de datos.
- Análisis Preliminar de Causas que Originan Variaciones En base a observaciones preliminares, se puede bosquejar un diagrama causa efecto inicial, donde se plasme las suposiciones iniciales y el juicio sistemático de expertos.
- Aplicación de Técnicas Estadísticas de Medición Con el apoyo de la Gerencia de Proyecto, se debe proceder a realizar las mediciones iniciales al proceso. Para la medición del Nivel de Actividad, identificación de secuencias de operaciones y causas raíces de improductividades, se debe proceder de la siguiente manera:
 1. Definir los objetivos de la medición.
 2. Se deben seleccionar las tareas más representativas y repetitivas, así como clasificarlas en tareas productivas, contributorias y no contributorias según el proceso y los recursos que se estén analizando.
 3. Se deben identificar los procesos Proveedores y Clientes, que se interrelacionan directamente con el proceso en estudio, plasmados en el diagrama SIPOC.
 4. Habiendo identificado los objetivos y clasificado las tareas, se debe empezar con el muestreo del trabajo y/o con los estudios de tiempo-movimiento, para lo cual se debe proceder de la siguiente forma:

- Se debe establecer el procedimiento de medición.
 - Se debe definir la cantidad de datos (Intervalo de medición, número de jornadas para la toma de datos).
 - Se deben seleccionar los equipos y/o cuadrillas a ser medidas.
 - Se debe identificar al personal obrero que participa de las tareas componentes del proceso. - Se debe comenzar con la medición del proceso por jornadas completas. Para la toma de datos es recomendable el uso de Tablets electrónicos.
 - Se deben anotar los volúmenes producidos para cada proceso en estudio, así como para cada tarea componente, a manera de obtener los rendimientos iniciales del proceso en estudio
5. Finalmente, se deben graficar los porcentajes promedios obtenidos durante las mediciones iniciales.

4. CAPITULO III: DESARROLLO DEL MÉTODO

4.1 Aplicación de la Mejora Continua

En la presente tesis se plantea desarrollar un método que permita reducir el desperdicio de concreto. Para ello se empleará el concepto de Mejora Continua a procesos constructivos, logrando así identificar el verdadero problema; así como las partidas influyentes, factores internos y/o externos, recursos involucrados. Una vez que se logre identificar el verdadero problema se procederá con plantear soluciones. El método estará en función a la mejor solución (evaluando factibilidad y costo/beneficio); el proyecto donde se aplicará este proyecto será el proyecto Metro Subterráneo. En este proyecto se evaluará los resultados de dicho método, el cual, será aplicada a toda cimentación profunda con el proceso constructivo tipo “top to down”. Para desarrollar el método se dividirá en tres etapas:

- Primera Etapa: Identificar el problema y la causa raíz a dicho problema.
- Segunda Etapa: Mediciones orientadas a la propuesta de mejora
- Tercera Etapa: Validación y Aplicación del método

La primera etapa se desarrollará en el presente capítulo; ya que, involucra los conceptos desarrollados en el marco teórico de la presente tesis para poder llegar a la causa raíz del problema planteado. Siendo así, las otras dos etapas (segunda y tercera) serán desarrolladas en capítulos posteriores.

Para poder entender los pasos a seguir en el desarrollo del método se puede apreciar la siguiente figura, la cual. Muestra un flujograma de proceso a seguir para llegar a la meta “Reducir el desperdicio de concreto”.

Método para Reducir el Desperdicio de Concreto en Muros Pantalla

Figura 22. Flujograma del Desarrollo del Método

Fuente: Propia

Estas etapas están conformadas por las siguientes actividades:

PRIMERA ETAPA:

- Se recolecta información de las áreas de ingeniería (planos), producción (criterio de pedido de concreto, sectorización, planificación), oficina técnica (concreto pedido).
- Se toma conocimiento del proceso constructivo en campo y el indicado en el EDI.
- Se identifica el problema
- Se identifica el problema principal y la meta
- Se identifica la causa raíz
- Se realiza una inspección a obra para analizar la forma correcta de recolección de datos.
- Se toman las mediciones necesarias para cumplir con la meta.
- Se coordina con el área de producción la posibilidad de una mejora; y la supervisión necesaria en los trabajos donde se desarrollará una mejora continua.

SEGUNDA ETAPA:

- Se informa al personal de producción acerca de la medición o control que se está llevando a cabo para reducir el desperdicio de concreto.
- Se desarrolla el método.

TERCERA ETAPA:

- Negación al cambio por parte de producción.
- Exposiciones respecto a los resultados para su aplicación.
- Validación del método
- Aplicación del método a los módulos restantes.

Primera Etapa

4.1.1 Situación actual del proyecto

En primer lugar, para aplicar una mejora se debe conocer la situación actual, la cual, servirá de referencia a futuro para poder medir la mejora respecto a la situación antes de aplicar Mejora Continua (Productividad) en el proyecto. A la fecha de redacción de la presente Tesina, el proyecto sigue en ejecución, cabe mencionar, que las obras civiles están en la última etapa de ejecución. Lo que quiere decir que los muros pantalla se

encuentran ejecutados en su totalidad. En este sentido, se tiene una base de información de 4 estaciones ejecutadas, 1 en ejecución y un panorama de 22 estaciones por ejecutar.

Para el desarrollo del método se recurrirá a la recolección de información de las estaciones ya ejecutadas del proyecto Metro Subterráneo, específicamente en las estaciones subterráneas, las cuales, presentan características muy similares, pero están conformadas por los mismos elementos, los cuales, se ejecutan bajo los mismos criterios de proceso constructivo. Se empleará el Diagrama de Pareto para identificar los elementos, fases y/o insumos con mayor incidencia.

4.1.2 Selección del Problema

4.1.2.1 Actividades incidentes en costo

Teniendo en cuenta que se analizará específicamente las estaciones subterráneas, se deberá partir por identificar las partidas actividades con mayor incidencia respecto al costo para poder luego identificar los insumos más relevantes respecto a la partida en análisis. Por ello, se deberá establecer un procedimiento a seguir para identificar los insumos más relevantes para luego plantear el objetivo y asignar recursos a dicho objetivo.

El procedimiento a seguir es el siguiente:

1. Obtener el Presupuesto del EDI o Base.
2. Se empleará el Diagrama de Pareto para identificar los recursos o insumos con mayor incidencia.
3. Los recursos o insumos se ordenarán de forma descendente de acuerdo a su monto (\$).
4. Los recursos o insumos deberán ser clasificadas por las 3 categorías (A, B y C) considerando el monto (\$) de cada una.
5. Teniendo el monto de cada una, ya ordenadas de forma descendente, se calculará el acumulado (\$). Luego se podrá obtener la frecuencia relativa acumulada, para que se pueda proceder con la clasificación ABC del Diagrama de Pareto.
6. Una vez clasificadas estas partidas, se centrarán los recursos, para mejorar la productividad en obra, en las partidas de clase A.

En primer lugar, se ordenarán las obras civiles del presupuesto de manera descendente según su incidencia en las obras de las estaciones como se muestra en el siguiente cuadro:

Tabla 6
Análisis de incidencia en costo de obras civiles

Descripción	Incidencia	Incidencia (%)	Incidencia Acum.
Muro Pantalla	0.44	44%	44%
Losa de Cubierta	0.17	17%	61%
Movimiento de tierras	0.14	14%	75%
Pila pilote	0.09	9%	84%
Losa de vestíbulo	0.09	9%	93%
Accesos	0.04	4%	96%
Losa bajo andén	0.03	3%	100%
TOTAL COSTO DIRECTO	1.00	100%	

Nota: Fuente propia

Como se puede observar en el cuadro anterior, las estructuras con mayor incidencia en las obras civiles de una estación, son los Muros Pantallas.

En segundo lugar, una vez que se obtiene que el elemento más incidente son los muros pantallas se ordenarán las actividades del presupuesto de manera descendente según presupuesto como se muestra en el siguiente cuadro:

Tabla 7
Lista de partidas (Presupuesto Muros Pantalla)

Descripción	Incidencia	Incidencia Acum.
Excavación con pantalla de 1,00 m de ancho	55%	55%
Acero de refuerzo $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$	25%	80%
Concreto en pantalla de 1,00 m de ancho	16%	96%
Sellado elastomérico entre junta de pantallas	2%	98%
Doble murete guía para pantalla de 1,00 m de ancho	1%	99%
Otros	1%	100%
TOTAL COSTO DIRECTO	1.00	100%

Nota: Fuente propia

Posteriormente, se procede a clasificar estas actividades de acuerdo a la clasificación ABC de Pareto como se puede apreciar a continuación:

Tabla 8
Clasificación ABC

Descripción	% Acum.	Clasificación
Excavación con pantalla de 1,00 m de ancho	55%	A
Acero de refuerzo $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$.	80%	
Concreto en pantalla de 1,00 m de ancho,	96%	B
Sellado elastomérico entre junta de pantallas	98%	C
Doble murete guía para pantalla de 1,00 m de ancho	99%	
Otros	100%	
TOTAL COSTO DIRECTO		

Nota: Fuente propia

Del anterior cuadro podemos deducir que las partidas que representan el 80% de los “problemas” a mejorar son: la excavación y el acero. Esto nos indica en un primer momento que las partidas donde se deben enfocar los recursos para implementar una mejora deberían ser la excavación o el acero. Para tener una mejor visualización se procede a realizar el diagrama de Pareto.

Figura 23. Diagrama de Pareto de Muro Pantalla

Fuente: Propia

Se puede apreciar que la excavación y el acero representan el 80% de las partidas que generan el 80% de los problemas (categoría A). Para optar por la partida a estudiar no

solo bastará con realizar un diagrama de Pareto; si no, que se deberá analizar cada una de las partidas, de acuerdo a su prioridad, y analizar la viabilidad del estudio de mejora continua; ya que, como se mencionó en el marco teórico de la presente tesis, para mejorar es necesario medir; por lo que, pasamos se debe realizar la elección del recurso.

4.1.2.2 Elección de Recurso

4.1.2.2.1 Diagrama de Pareto

Una vez aplicado el Diagrama de Pareto, con los recursos o insumos clasificados, se deberá elegir la partida más relevante y viable para proceder con el estudio y mejora de la productividad. Para ello, se deberá elaborar una matriz de decisiones. De acuerdo al gráfico N° 03 se puede apreciar que las actividades más incidentes son:

1. Excavación (categoría A)
2. Acero (categoría A)
3. Concreto (categoría B)
4. Sello entre juntas (categoría C)
5. Doble Murete guía (categoría C)
6. Otros (categoría C)

De las actividades anteriormente enlistadas habrá algunas que no se podrán desarrollar debido al criterio costo/beneficio o responsabilidad contractual o poca relevancia, entre otros factores.

Tabla 9
Descarte de Partidas a Analizar

Partida	Procede	¿Por qué?
Excavación	No	Esta partida depende básicamente de la excavadora; por lo que la solución o mejoras al proceso no conciernen a un estudio de ingeniería civil.
Acero	No	Medir (concepto básico para desarrollar una mejora) es un proceso muy complejo; por lo que, el costo de medición de desperdicio es mayor al beneficio
Concreto	Si	A pesar de estar en la categoría B (según Pareto); es la partida en la que se puede medir con pocos recursos el

Partida	Procede	¿Por qué?
		desperdicio real actual que se tiene para implementar una mejora. Costo/Beneficio < 1

Nota: Fuente propia

4.1.2.2.2 Metodología DMAIC: Cálculo del Factor de Oportunidad de Mejora

Por otro lado, calcularemos el factor de mejora para escoger una posible partida a evaluar y a aplicar el enfoque de productividad y mejora continua. Aplicando la metodología DMAIC para la mejora de procesos.

Es necesario establecer criterios claros para la selección de los procesos a mejorar, tales como:

- Incidencia en el presupuesto.
- Baja productividad.
- Bajos Índices de desempeño (CPI y SPI).
- Alto porcentaje de saldo por ejecutar.
- Repetitividad.

Teniendo en cuenta los criterios mencionados líneas arriba y el Informe Semanal de Producción (ISP) del proyecto, es posible calcular el Factor de Oportunidad de Mejora (MEJ) de cada proceso a una fecha de corte determinada, utilizando la siguiente fórmula:

$$MEJ = \frac{S(\%) * Inc.(\%)}{CPI * SPI} * 100$$

Para estas partidas en análisis se considera lo siguiente:

S: Se están calculando factores MEJ con proyección a todas las pantallas por ejecutar en las 22 estaciones restantes. S=100%

Inc: Incidencia en Costo, calculado anteriormente

CPI: Índice de desempeño extraído de los ISP de Obra.

SPI: Índice de desempeño extraído de los ISP de Obra.

Con lo expuesto se tiene lo siguiente:

Tabla 10
Calculo factor MEJ

Descripción	und	Incidencia	CPI	SPI	MEJ
Pantallas estación					
Excavación con pantalla de 1,00 m	m2	0.55	1.32	1.09	0.38
Acero de refuerzo $f_y = 4200$	kg	0.25	1.08	1.68	0.14
Concreto en pantalla de 1,00 m	m2	0.16	1.09	0.94	0.13

Nota: Fuente propia

Al igual que en el análisis mediante Pareto tenemos que las dos partidas a analizar según este método es la excavación y el acero. Sin embargo; a pesar de ser el tercero en incidencia en costo, el concreto aumenta su factor MEJ debido al bajo índice de desempeño del plazo. Esto se refleja en los retrasos de los mixer para abastecer la gran velocidad de vaciado de este método constructivo. También a que se depende mucho de la velocidad de fragua para la extracción del tubo tremie que se encarga de la colocación del concreto.

Finalmente, aplicando la metodología DMAIC debemos considerar también la repetitividad de la actividad, la cantidad de datos medibles y la complejidad del proceso constructivo. En este último aspecto, la excavación depende siempre de los sensores de inclinación, expertos del operador y tipo de suelo lo que vuelve complejo su control y deja su productividad en manos de la maquinaria. Por eso, en la presente tesina, se decidió analizar el concreto en muros pantallas.

4.1.2.3 Investigación de los Recurso

Se deberá tomar conocimiento del recurso a desarrollar mediante el entendimiento de las normas, contrato, procesos constructivos, entre otros, en referencia a la partida de análisis. A su vez, se identificarán los otros recursos relacionado a este que entre todos conforman un proceso; Es decir, se deberá identificar un proceso, el cual, se analizará las actividades que lo conforman de manera directa e indirecta. Esta información recopilada servirá para poder obtener un comparativo entre el desarrollo teórico de la actividad y el de campo o el real.

Conociendo que EL CONCRETO de los muros pantallas será la partida a analizar, se realiza un listado de las actividades e información recopilada del proceso:

1. Pedido de concreto realizado por capataz de producción.
2. Margen considerado: 17% adicional al volumen teórico, en el pedido de concreto
3. Capataz puede variar el pedido durante el vaciado de concreto.
4. Según EDI las dimensiones son: espesor: 1 m., Ancho y altura son variables de acuerdo al módulo a ejecutar; y la altura de descabezado varía entre 0.30 m a 0.40 m.
5. Altura real de descabezado son el doble o más de lo teórico.

Como se puede apreciar, con una simple visita a campo se observa que hay elementos sobredimensionados lo que acarrea un desperdicio evidente de concreto; por lo que se puede concluir que el PROBLEMA a solucionar, como implementación de una mejora, será el DESPERDICIO DE CONCRETO; es decir, que posteriormente se deberá identificar ante qué tipo de desperdicio estamos según Taiichi Ohno.

Este problema se ha seleccionado de manera objetiva bajo la experiencia del equipo y en base a registros históricos. Algunos de estos criterios son los siguientes:

- Impacto en el Costo
- Impacto en las Expectativas y satisfacción del cliente
- Complejidad del problema
- Tiempo de desarrollo e implementación de la solución.

4.1.3 Identificación de la Causa Raíz

Para poder solucionar el problema previamente seleccionado, se deberá conocer la causa raíz a este problema.

4.1.3.1 Plan

En esta etapa, como lo dice el nombre de la misma, se planeará el plan de trabajo del equipo de Productividad. Esta etapa comprende dos partes: ¿Qué hacer? Y ¿Cómo hacer?

En primer lugar, el “¿Qué hacer?” consiste en establecer un objetivo, el cual, puede ser reducir los desperdicios, aumentar rendimientos, etc.; y por consiguiente establecer una meta, es decir, cuantificar dicho objetivo incluyendo un plazo.

En segundo lugar, el “¿Cómo hacer?” consiste en establecer un método a seguir para lograr la meta prevista.

Entonces, teniendo como resultado de los cuadros y gráfico anteriores, se analizará el concreto; por lo que, se procede a cuestionarse:

¿Qué hacer?

Al analizar la situación actual de la partida se identifican los siguientes problemas:

- Exceso en el pedido de concreto
- Irregularidades en el terreno

De lo anterior podemos deducir que hay un desperdicio de concreto considerable; ya que el problema es el desperdicio, de acuerdo al autor Taiichi Ohno, este tipo de desperdicio corresponde a la Sobreproducción; es decir, La cantidad de demanda es menor a la cantidad producida. Por ello, el objetivo sería: Desarrollar un método para reducir el desperdicio de concreto, en Muros Pantalla de las Estaciones Subterráneas del Proyecto Metro Subterráneo, a 10.50%. Este objetivo se deberá cumplir en un plazo no mayor a 2 meses en los que se aplicaran los conceptos de productividad para reducir el desperdicio de concreto.

¿Cómo hacer?

Este objetivo se logrará mediante los siguientes pasos:

- Analizar la situación actual del proyecto
- Recopilación de Datos
- Mediciones vinculadas a la partida donde se aplicará Mejora Continua
- Desarrollar un método para reducir el desperdicio de concreto en los Muro Pantalla.
- Validar el método en base a juicio experto de los responsables de producción.
- Aplicar el método a desarrollar

Oportunidades de Mejora

Estas oportunidades se presentan cuando no se cumplen las metas previstas (planeamiento) o cuando de por sí la actividad presenta un “buffer”³. Estas oportunidades pueden ser detectadas mediante el control de las actividades y teniendo en cuenta la clasificación que se plantea en el Diagrama de Pareto. Posterior a esto se deberá determinar cuál de estas actividades representa un problema que se pueda mejorar; para este caso se optó por reducir el desperdicio de concreto, debiendo cumplir con algunos requisitos como:

- El problema que se ha tomado para desarrollar tiene un grado de complejidad, es decir, la solución no es notoria.
- Se tomará una variable, la cual, deberá cuantificar el problema, la cual, en este caso es el porcentaje de desperdicio de concreto
- La relación beneficio/costo proyectado es mayor a 1.

4.1.3.2 Recopilación de Información

Para lograr tener noción del desarrollo del proceso elegido en campo, es decir, el real desarrollo del proceso; se deberá realizar actividades como:

- Inspección en Campo: Identificar a los involucrados en el desarrollo del proceso, entrevistar a él/los responsables en campo. Donde pudimos apreciar que los involucrados en este proceso son el Ingeniero Residente, jefe de producción y el jefe de costos.
- Recolección de Información: Se recopilará la información de campo que se ha ido tomando durante el desarrollo del proyecto como, por ejemplo: guías, control de despachos, órdenes de compra, etc. Además, se recopilará la información inicial del proyecto como es el calendario, presupuesto, planos, entre otros.
- La programación del concreto para muros pantalla a ejecutar lo define el Responsable de servicio con el Capataz encargado en dicha programación se indica la hora de atención y el volumen.

³ Buffer: Recursos destinados a una partida para cubrir posibles contingencias durante el desarrollo de la misma; esto, se debe a riesgos existentes o la variabilidad del contexto.

- Para calcular el volumen del concreto a pedir se cuenta con el volumen teórico (metrado) y un margen de desperdicio en procesos anteriores; este margen de desperdicio ha sido considerado 17 % del volumen teórico en un momento inicial.
- A pesar de que se contó con un criterio inicial de pedido de concreto por parte del planeamiento del mismo proyecto; en campo se ha variado este pedido según criterio de capataz, es decir, lo que creía faltaría para concluir el elemento. Esta variación se hizo durante el vaciado de los mismos.
- Se podría considerar que el criterio final fue pedir el concreto conforme avanza el vaciado de los Muro Pantalla
- Medición: Se tomará tiempo, cantidades reales, rendimientos, entre otros.

Al enfocarse en una partida, se deberá medir todo lo relevante al análisis. En este caso es el concreto; por lo que, se medirá los elementos que conforman esta pantalla con los que no cuenta producción ni oficina técnica como lo es:

- Altura de descabezado de los muros. (m)
- Volumen restante en el mixer. (m³)

La medición de estas dos variables nos dará el volumen efectivo o real empleado en el Muro Pantalla (sin considerar descabezado).

Además, se deberá tener pleno conocimiento de los recursos y actividades del proceso a mejorar, es decir, se deberá conocer los resultados reales y los previstos para así poder tener una comparación de lo real vs. Lo planificado. A continuación, un cuadro resumen del volumen de concreto planificado por estación vs. Volumen real.

Tabla 11
Volumen Concreto Planificado vs. Volumen Real de Concreto

ESTACION	LONGITUD	FECHA DE VACIADO	VOLUMEN TEÓRICO (m3)	VOLUMEN PEDIDO (m3)	% DESPERDICIO DE CONCRETO	DESPERDICIO DE CONCRETO (m3)
E-A	7.00	19-09-17	155.84	178.00	14.22%	22.16
E-B	5.83	20-09-17	133.89	168.00	25.48%	34.11
E-C	2.40	20-09-17	103.68	119.00	14.78%	15.32
E-D	5.82	22-09-17	128.91	157.00	21.79%	28.09
E-E	4.60	22-09-17	103.96	122.00	17.35%	18.04

ESTACION	LONGITUD	FECHA DE VACIADO	VOLUMEN TEÓRICO (m3)	VOLUMEN PEDIDO (m3)	% DESPERDICIO DE CONCRETO	DESPERDICIO DE CONCRETO (m3)
E-A	5.82	23-09-17	128.91	154.00	19.46%	25.09
E-A	7.00	25-09-17	151.20	175.00	15.74%	23.80
E-A	3.40	26-09-17	157.51	180.00	14.28%	22.49
E-A	7.00	28-09-17	151.20	174.00	15.08%	22.80
E-A	3.85	29-09-17	137.12	160.00	16.69%	22.88
E-A	5.80	30-09-17	129.92	157.00	20.84%	27.08
E-A	7.00	02-10-17	151.20	173.00	14.42%	21.80
E-A	7.00	03-10-17	151.20	178.00	17.72%	26.80
E-A	2.40	04-10-17	103.68	124.00	19.60%	20.32
E-A	6.90	04-10-17	149.04	170.00	14.06%	20.96
E-A	7.00	05-10-17	151.20	173.00	14.42%	21.80

Nota: Fuente propia

Se puede apreciar, en el caso de la estación E-A, que ha habido un porcentaje promedio de desperdicio de 17% aproximadamente.

4.1.3.3 Impacto del problema

Se debe identificar el alcance e impacto económico, ambiental, técnico y social del problema principal seleccionado; ya que se deberá prever los recursos necesarios a su solución

En el presente caso podemos definir el alcance, como se mencionó anteriormente, al desarrollo de un método para reducir el desperdicio de concreto. Mientras que, el impacto económico sería positivo considerando que falta ejecutarse un 80% de estaciones. Al reducirse el desperdicio de concreto se tendría un impacto ambiental positivo disminuyendo la huella de carbono del proyecto. Por otro lado, el impacto en lo técnico sería de manera positiva; ya que se estaría generando un mejor o un correcto criterio de pedido de concreto; y en lo social no afecta debido a que no se está alterando el área de trabajo ni adicionando o restando factores que intervienen en el proceso de vaciado de concreto.

4.1.3.4 Análisis de causas – efectos del problema

Mediante una lluvia de ideas el equipo deberá elaborar una lista de posibles causas; para ello, se identificarán las 6 principales causas como se plantea en el Diagrama de Ishikawa. Siendo estas las detalladas previamente en el marco teórico del presente trabajo; por lo que, se procede a realizar el diagrama de Ishikawa que nos permitirá hallar de una manera más sencilla, didáctica y visual la causa raíz al problema en análisis; por ello, se muestra el siguiente gráfico.

Una vez se haya identificado las causas y su efecto en referencia al problema, estas causas, se deberán presentar en el diagrama de Ishikawa para poder visualizar de forma más clara la relación con el problema. Para ello, se deberá

Realizar preguntas sistemáticamente como ¿Por qué? Para poder llegar a las “causas raíz”. Es así como se llega a que el problema principal es el CRITERIO DE PEDIDO DE CONCRETO a lo que corresponde la causa raíz: INCORRECTA FORMULACIÓN DEL PEDIDO DE CONCRETO POR UN MARGEN SIN ACTUALIZAR.

Figura 24. Diagrama de Ishikawa

Fuente: Propia

4.1.3.5 Elaboración del Plan de Trabajo

En esta etapa el equipo de trabajo deberá proponer, seleccionar y programar las posibles soluciones. Para ello, este paso se puede dividir en dos etapas.

- Proponer Soluciones: Lluvia de ideas
- Selección de la mejor solución: Costo-Beneficio

Se obtiene como mejor idea: Reformular el pedido de concreto. Para ello, se deberá sincerar el margen de desperdicio considerado. Este margen corresponde, básicamente, a los desperdicios originados por irregularidad del terreno; ya que, se está hablando de una cimentación profunda contra terreno. Por lo que, se deberá calcular ese desperdicio por irregularidades mediante toma de datos de los volúmenes de concreto en los elementos y el que se pierde en el mixer.

4.2 Desarrollo del método

Previamente, se elaboró una base de datos consolidando, acorde a la información recopilada en la PRIMERA ETAPA. Las mediciones de las anteriores estaciones ejecutadas, como se puede apreciar en el Anexo N° 01; y la estación última ejecutada entre el periodo de setiembre a diciembre. En esta base de datos se puede obtener:

- El porcentaje promedio de desperdicio en los muros pantalla es de 17%.
- La altura mínima de descabezado considerada es de 0.40 m.

Una vez recopilada la información se procede a pasar a la siguiente etapa que consta del desarrollo del método.

Segunda Etapa

4.2.1 Incorporar a los involucrados al Proceso

Se comunicará al jefe de producción, que a su vez notificará a todo el personal de campo, acerca del control de desperdicio de concreto que se está teniendo en el proyecto; ya que, la implementación de una mejora continua se da con el trabajo en equipo de todos los involucrados. Para el caso del pedido de concreto se tiene que los principales involucrados en la toma de decisiones del proceso son el área de producción y el área de oficina técnica.

Se explicó el propósito de las mediciones en campo y cuál es el objetivo del trabajo. A pesar de que estos valores están dentro del margen de desperdicio del presupuesto, no deja de ser una oportunidad de mejora; y a su vez, un ahorro para el proyecto beneficiándose todos los involucrados. Mediante la data global de las estaciones se tiene que hasta la fecha ha habido un desperdicio promedio de 15.40% por modulo, lo que en conjunto suma 5,791.56 m³ de concreto desperdiciado, lo cual, representa \$ 524,292.00 aproximadamente hasta la penúltima estación como se puede apreciar en el cuadro siguiente:

Tabla 12
Resumen General de Estaciones Ejecutadas

ESTACION	NUMERO DE PANTALLAS	PANTALLAS EJECUTADAS	% DE AVANCE	VOL TOTAL CONCRETO	VOL CONCRETO AVANCE TÓRICO	VOL CONCRETO PEDIDO	VOLUMEN DESPERDICIO	% DESPERDICIO CONCRETO
E-A	58	58	100%	7867.66	7867.66	9,155.00	1,287.34	16.4%
E-B	71	71	100%	6686.89	6686.89	7,805.00	1,118.11	16.7%
E-C	69	69	100%	6802.40	6802.40	7,796.57	994.17	14.6%
E-D	152	152	100%	15781.06	15781.06	18,173.00	2,391.94	15.2%

Nota: Fuente propia

Teniendo en cuenta que son 27 estaciones en total, de las cuales, están pendientes 22; es decir, el 81.5% de estaciones. Si estas siguen presentando procesos deficientes se puede proyectar una pérdida de \$2'883,387.70. Es así, como el responsable de producción acepta brindar un mayor apoyo respecto a las mediciones y se comunica que se está planteando la incorporación de cambios en el pedido de concreto para reducir el desperdicio del mismo.

4.2.2 Mediciones

La presente tesis realizará las mediciones respectivas en la estación que se encuentra en ejecución al momento de iniciar el presente trabajo, esta estación es la estación **E-D**. Para la cual se medirá las alturas reales de descabezado; así como, del volumen que queda en el mixer de concreto; ya que, ambos valores permitirán hallar el desperdicio por irregularidades que es lo que considera el margen de pedido de concreto. Esto realizará mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Volumen por Irregularidad} = \text{Volumen Efectivo} - \text{Volumen teorico}$$

Donde:

Volumen por irregularidad: Volumen de las irregularidades del terreno

Volumen Efectivo: Volumen que realmente pertenece al Muro Pantalla (sin descabezado)

Volumen teórico: Volumen indicado en el EDI (sin descabezado)

$$\text{Volumen Efectivo} = \text{Vol. Pedido} - \text{Vol. Descabezado} - \text{Vol. Mixer}$$

Donde:

Volumen Pedido: Volumen según guías del proveedor de concreto

Volumen Descabezado: Altura real de descabezado por la longitud del muro

Volumen Mixer: Volumen Restante en el último mixer que ingresa.

Para el caso de los muros pantalla en general, tenemos:

Profundidad:

$$h_f = 22.53 \text{ m.}$$

Ancho:

$$e = 1.00 \text{ m. (constante en todas las pantallas)}$$

Largo:

$$L = 7.00 \text{ m.}$$

Entonces podemos calcular el *Volumen Teórico* real:

$$\text{Vol Teórico (cotas reales)} = h_f \times L \times e$$

$$\text{Vol Teórico (cotas reales)} = 22.53 \times 7 \times 1$$

$$\text{Vol Teórico (cotas reales)} = 157.71 \text{ m}^3$$

Siendo así, el volumen pedido de producción:

$$\text{Vol Pedido} = 1.17 \times \text{Vol Teórico}$$

Figura 25. Vista de Perfil de Muro Pantalla

Fuente: Propia

Para poder hallar, las variables que se desconocen como:

- Volumen del Descabezado
- Volumen en el Mixer

Se necesitó la participación de dos obreros y la toma de datos del área de oficina técnica. Durante este procedimiento se pudo apreciar que no se ha seguido al pie de la letra el criterio inicial de pedido indicado por el responsable de producción, lo cual, se indicó anteriormente tiene un valor de 1.17 del volumen teórico (incluyendo descabezado). Si no, que el capataz encargado por temor a que falte concreto se pidió con un exceso de 2 m³ en promedio, lo cual, generó un desperdicio no percibido por producción; puesto que, este se consideraba como parte del volumen del elemento. Se generó un desperdicio considerable por el sobredimensionamiento de los descabezados; estas alturas excesivas

de descabezado fueron cuantificadas en esta etapa inicial, en la estación E-E, se puede apreciar la variación que hay en la misma y el promedio en el gráfico *Variación Altura de Descabezados en la Primera Etapa de Implementación*, el cual, es de 0.78 m de altura de descabezado.

Figura 26. Variación Altura de Descabezados en la Primera Etapa de Implementación

Fuente: Propia

Por lo que, se aprecia un evidente desperdicio lo que conlleva a una oportunidad de Mejora en el proceso. Cabe mencionar que el EDI indica una altura de descabezado que varía entre 0.30 m. a 0.40 m. para protección del acero, pero que esta condición no se ha dado en campo.

Figura 27. Variación Desperdicio Concreto en la Primera Etapa

Fuente: Propia

Como se indicó anteriormente, las variables por medir son el volumen del mixer y el que corresponde a los descabezados; por lo que, se empleó las siguientes técnicas:

4.2.2.1 Volumen de Descabezados

Estos se miden hasta el nivel del concreto respecto a la guía más la altura adicional a nivel del terreno; ya que, el ancho es una variable conocida (EDI) y el espesor constante (1.00 m.) se puede medir fácilmente el volumen de concreto desperdiciado en los sobredimensionamientos del descabezado.

4.2.2.2 Volumen del Mixer

En este caso, se pudo apreciar en campo que el volumen sobrante que queda en el mixer no es botado en su totalidad; si no, que se reaprovecha este concreto faltante para poder vaciar los muro guía. No deja de ser desperdicio; puesto que, el análisis se enfoca netamente en el concreto del muro pantalla; y la resistencia requerida de concreto en los muros guía es menor que la empleada en el Muro Pantalla.

Estos muros guía presentan la siguiente dimensión:

Espesor: 0.5 m.

Altura: 1.20 m.

Longitud: 1.00 m.

Obteniendo el volumen de 0.60 m^3 de concreto por cada muro guía, los cuales, han sido identificados para poder calcular el volumen de desperdicio en el mixer. Mientras, que la diferencia ha sido calculada por carretillas de 0.08 m^3 . Siendo estos dos elementos los empleados para las mediciones de desperdicio que queda en el mixer.

Mediante los datos recopilados anteriormente se ha elaborado un consolidado de las nuevas mediciones obteniendo así el porcentaje máximo de desperdicio por

irregularidad de terreno el cual es de 10.50% como se puede ver en el Anexo N° 02.

Las tomas de dato continúan en esta segunda etapa, pero se puede apreciar una reducción significativa respecto al desperdicio de concreto como se muestran en los siguientes gráficos:

Figura 28. Variación de Desperdicio por Etapas

Fuente: Propia

Del gráfico anterior se puede apreciar que, en la primera etapa, cuando el equipo de producción aún no tiene conocimiento que se busca implementar una mejora en el proceso para reducir el desperdicio de concreto que están teniendo hasta la fecha, tiene un promedio de desperdicio de 16.17%. Mientras, que luego de notificar, coordinar y acordar implementar una mejora al proceso, se observa un mejor uso de los recursos; ya que el porcentaje promedio de desperdicio desciende a 14.19%.

Otro valor que se puede apreciar notablemente; y que posteriormente servirá como sustento para la implementación de la propuesta de mejora al proceso, es la altura de descabezados que se van presentando como se puede ver a continuación:

Figura 29. Variación de altura de descabezados por etapas

Fuente: Propia

En la cual se ve gráficamente como disminuye el promedio de alturas de descabezando; disminuye de 0.78m. (Primera etapa) a 0.55m. En la etapa actual, pero aun así estas se encuentran muy por encima de lo indicado en el EDI; puesto que, este indica una altura no mayor a 0.40 m.

Mediante la toma de datos que se vienen dando desde la primera etapa hasta esta segunda etapa se elabora un consolidado (Anexo N 02) con todas las variables controladas; ya que, anteriormente no se contaba con mediciones como: altura de descabezado, volumen de desperdicio en el mixer. Mediante la medición de los volúmenes faltantes se logra calcular el margen de desperdicio por irregularidades; dato que permite reformular el pedido de concreto; puesto que, se demuestra que un valor 17% es innecesario. Esto se puede apreciar a continuación:

Tabla 13
Recalculo del margen de desperdicio

DATOS ESPECÍFICOS DE TRABAJOS EN PANTALLAS												
HORMIGONADO												
COD MURO PANTALLA	LONGITUD	VOLUMEN TEÓRICO INC. DESCABEZA DO (m3)	ALTURA DESCABEZA DO (m)	VOLUMEN CALC PRODUCCION (m3)	VOLUMEN PEDIDO (m3)	VOLUMEN MIXER (m3)	% DESP EN EL MIXER	VOLUMEN DE DESCABEZA DO EXCESO (m3)	VOLUMEN EFECTIVO POR PANTALLA (m3)	VOLUMEN POR IRREGULARIDAD (m3)	% DESPERDICIO POR IRREGULARIDAD TERRENO	PERDIDAS DE CONCRETO (m3)
1	2	11	12	13	14	17	18	19	20	21	22	23
27E-20	5,30	110,61	0,82	121,14	121,00	1,20	1,08%	4,35	115,45	11,31	10,22%	15,24%
22E-20	7,30	154,32	0,90	168,44	168,50	1,45	0,94%	6,57	160,48	15,65	10,14%	15,34%
43E-20	6,70	80,67	0,73	86,39	88,00	2,00	2,48%	4,89	81,11	8,01	9,93%	18,47%
38E-20	6,70	80,07	0,64	86,39	87,00	1,65	2,06%	4,29	81,06	7,96	9,95%	17,36%
24E-20	6,40	134,85	0,83	147,67	148,00	2,00	1,48%	5,31	140,69	13,71	10,17%	15,59%
23E-20	6,90	145,87	0,90	159,21	159,50	1,90	1,30%	6,21	151,39	14,49	9,94%	15,50%
42E-20	6,70	80,20	0,66	86,39	86,50	1,30	1,62%	4,42	80,78	7,68	9,58%	16,71%
60E-20	6,01	121,93	0,75	133,86	134,00	1,90	1,56%	4,51	127,59	12,57	10,31%	15,57%
41E-20	6,70	80,60	0,72	86,39	86,50	1,50	1,86%	4,82	80,18	7,08	8,78%	16,63%
61E-20	6,20	126,81	0,85	138,55	138,50	1,30	1,03%	5,27	131,93	12,87	10,15%	15,33%
40E-20	6,70	78,52	0,41	86,39	85,50	1,70	2,16%	2,75	81,05	7,96	10,13%	15,80%
25E-20	6,34	131,15	0,49	145,97	144,00	1,90	1,45%	3,11	138,99	13,49	10,28%	14,10%
26E-20	6,20	128,53	0,60	142,28	140,50	1,20	0,93%	3,72	135,58	13,25	10,31%	14,14%
62E-20	8,06	162,71	0,50	180,89	178,00	1,60	0,98%	4,03	172,37	16,92	10,40%	13,86%
47E-20	5,90	116,29	0,87	126,72	126,50	1,50	1,29%	5,13	119,87	11,07	9,52%	15,22%
39E-20	6,70	78,46	0,40	86,39	85,00	1,30	1,66%	2,68	81,02	7,92	10,10%	15,17%
10E-20	8,10	162,26	0,45	180,82	177,50	1,60	0,99%	3,65	172,26	16,88	10,40%	13,64%
63E-20	8,06	163,22	0,48	181,65	178,50	1,70	1,04%	3,87	172,93	16,81	10,30%	13,71%
58E-20	6,99	139,28	0,54	154,47	152,00	1,70	1,22%	3,77	146,53	13,82	9,92%	13,85%
8E-20	7,26	145,42	0,59	160,89	158,50	1,70	1,17%	4,28	152,52	14,29	9,82%	13,94%
48E-20	7,30	141,84	0,59	156,79	154,50	1,40	0,99%	4,31	148,79	14,18	10,00%	14,02%
7E-20	7,26	144,79	0,58	160,26	158,00	1,20	0,83%	4,21	152,59	14,91	10,30%	14,03%
1E-20	6,35	124,00	0,63	136,80	135,00	1,50	1,21%	4,00	129,50	12,04	9,71%	14,14%
56E-20	6,99	138,80	0,60	153,45	151,00	1,00	0,72%	4,19	145,81	14,00	10,08%	13,83%
49E-20	3,20	62,27	0,62	68,73	69,00	1,60	2,57%	1,98	65,42	6,41	10,29%	16,05%
3E-20	7,26	142,59	0,58	157,76	155,50	1,00	0,70%	4,21	150,29	14,81	10,39%	14,04%
55E-20	6,99	137,67	0,51	152,88	150,50	1,30	0,94%	3,56	145,64	14,33	10,41%	13,94%
50E-20	12,21	236,69	0,52	262,58	257,00	1,00	0,42%	6,35	249,65	24,20	10,22%	13,33%
64E-20	3,20	65,61	0,70	72,24	72,50	1,40	2,13%	2,24	68,86	6,77	10,31%	15,86%
4E-20	7,26	142,93	0,55	158,39	155,00	1,60	1,12%	3,99	149,41	13,38	9,36%	13,27%
51E-20	6,45	125,19	0,49	139,12	136,00	1,00	0,80%	3,16	131,84	12,39	9,89%	13,22%
5E-20	7,26	143,33	0,53	159,01	156,00	1,10	0,77%	3,85	151,05	14,48	10,10%	13,55%
54E-20	3,20	63,46	0,72	69,72	70,00	1,30	2,05%	2,30	66,40	6,52	10,27%	15,95%
6E-20	7,26	143,09	0,42	159,64	155,50	1,10	0,77%	3,05	151,35	14,22	9,94%	12,84%
65E-20	6,50	131,83	0,41	147,24	144,00	1,00	0,76%	2,67	140,34	13,77	10,45%	13,23%

PROMEDIO= 9,95%

VAL MAX= 10,45%

Nota: Fuente propia

Como se puede apreciar el promedio de porcentaje de desperdicio es de 10% aproximadamente, el cual, serviría para reformular el pedido de concreto: Vol. Pedido debe ser 1.10 veces el volumen teórico (EDI).

5. CAPITULO IV: APLICACIÓN DEL MÉTODO

Con la recolección de datos previa y los datos obtenidos anteriormente es que se procede a proponer una mejora empleando los márgenes obtenidos de las mediciones en la primera y segunda etapa. Estos márgenes (promedio y porcentaje de desperdicio máximo) deberán ser validados con el responsable de producción para que sea aplicado posteriormente.

Tercera Etapa

5.1 Validación del método

Una vez seleccionado el valor a emplear como margen de desperdicio (% promedio o % máximo) se deberá hallar el volumen a pedir, para lo que se necesitará definir ciertas condicionales en conjunto con el responsable de producción.

Se reúne a los involucrados para mostrar los valores obtenidos, la incorporación de esta mejora al proceso y el beneficio que se tendrá. Sin embargo, se muestra un rechazo al cambio el cual deberá ser fundamentado con los Anexos 01 y 02; logrando así, la aceptación e incorporación del método. Para ello, se deberá conciliar los siguientes valores:

- **Margen de Desperdicio:**

Por un tema de seguridad es que producción se rehúsa a emplear el promedio y optan por el porcentaje máximo de desperdicio que se dio durante las mediciones; siendo este: *10.50%*.

- **Altura Mínima de descabezado:**

El EDI indica que esta altura varía entre 0.30 a 0.40, pero se sabe qué producción a estado considerando 0.40m al momento de hallar su volumen teórico, el cual, posteriormente será maximizado por el factor de desperdicio que han venido considerando. Se plantea trabajar los siguientes módulos de la estación E-E con una altura mínima de descabezado de 0.30 m. de altura a lo que accede producción.

El pedido de concreto se realiza al proveedor de concreto indicando los m³ necesarios y estos deberán ser números exactos o aproximados al valor más cercano +/- medio metro

cúbico. Como se indicó en la Primera etapa, el pedido de concreto ha sido delegado al capataz; quien no se encuentra en la capacidad de reformular el pedido de concreto de la manera más óptima. Por ello, se genera una tabla de Formulación de pedido de concreto (Anexo N 03). Una vez definidos estos valores se procede a hallar el *Volumen de Pedido de Concreto*.

5.1.1 Volumen en función al Volumen de Expansión

Se tomará un primer volumen denominado *Volumen Productividad (Inicial)*, el cual, estará la función al Volumen máximo de desperdicio por irregularidad en el terreno. Siendo así:

$$Volumen Productividad (Inicial) = Volumen EDI \times 1.11$$

Donde:

Volumen EDI: Volumen inicial según planos

1.11: considerando un incremento del 10.50% debido al % de desperdicio por irregularidad en el terreno

Una vez que se obtiene el *Volumen Productividad (Inicial)* se procede a redondearlo al número entero menor o medio metro cúbico de concreto (0.50) menor más cercano. Este último valor redondeado se denominada el *Volumen de Pedido Posible 1*.

Luego, el *Volumen de Pedido Posible 1* será aumentado en un 0.50 m³, para poder tener un margen que cumpla con los requerimientos o niveles mínimos de producción.

5.1.2 Volumen en función a la Altura Mínima de Descabezado

Al incorporarse una reformulación de pedido hay un riesgo, considerado por producción, de posible falta de concreto durante el vaciado o de no cumplir con las especificaciones técnicas mínimas. En el caso del concreto de los muros pantalla, el área de producción, ha accedido a establecer una altura mínima de descabezado 0.30 m. (misma del EDI), la misma, que se tendrá en consideración al momento de formular el pedido de concreto.

Según la consideración anterior de producción se debe elaborar una relación que garantice esa altura mínima de descabezado. Esta situación se puede idealizar teniendo en cuenta variables que se muestran en la siguiente gráfica:

Figura 30. Esquema en perfil del Muro pantalla en función del descabezado

Fuente: Propia

Donde:

h_1 : Altura de Volumen de pedido posible 1

V_{hf} : Volumen teórico según EDI

h_f : Altura Total según EDI (altura muro sin descabezado)

V_{p1} : Volumen de Pedido Posible 1

h_d : Altura Descabezado

Teniendo en cuenta la geometría del elemento y las variables graficadas anteriormente, se puede plantear la siguiente relación:

$$\frac{h_f}{V_{hf}} = \frac{h_1}{V_{p1}}$$

$$\frac{h_f}{V_{hf}} = \frac{h_f + h_d}{V_{p1}}$$

$$h_d = \frac{h_f \times V_{p1}}{V_{h1}} - h_f$$

Una vez que se obtiene el valor de h_d en función del volumen de Pedido Posible 1, se corrobora que este valor este dentro de los límites establecidos por producción. En este caso producción ha considerado que no debe haber un descabezado menor a 0.30 m., lo cual, será la restricción para reformular el pedido de concreto. Esto se puede apreciar en la siguiente tabla:

Tabla 14
Formulación de pedido de concreto

VOLUMEN PEDIDO REAL (m3)	VOLUMEN PRODUCTIVIDAD (INICIAL)	PEDIDO POSIBLE 1	PEDIDO POSIBLE 2	h Calc.	h min	VOLUMEN RECOMENDADO PRODUCTIVIDAD (m3)	VOLUMEN CRITERIO INICIAL PRODUCCION (m3)	% DE PRODUCCION	% DE DESPERDICIO PRODUCTIVIDAD
121,00	119,77	119,50	120,00	0,35	0,3	119,50	123,56	15,24%	10,25%
168,50	166,49	166,00	167,00	0,34	0,3	166,00	171,77	15,34%	10,17%
88,00	86,69	86,50	87,00	0,37	0,3	86,50	89,44	18,47%	10,25%
87,00	86,69	86,50	87,00	0,37	0,3	86,50	89,44	17,36%	10,25%
148,00	145,97	145,50	146,00	0,33	0,3	145,50	150,59	15,59%	10,15%
159,50	157,37	157,00	158,00	0,35	0,3	157,00	162,35	15,50%	10,24%
86,50	86,69	86,50	87,00	0,37	0,3	86,50	89,44	16,71%	10,25%
134,00	132,41	132,00	133,00	0,34	0,3	132,00	136,60	15,57%	10,16%
86,50	86,69	86,50	87,00	0,37	0,3	86,50	89,44	16,63%	10,25%
138,50	137,04	137,00	137,50	0,39	0,3	137,00	141,38	15,33%	10,47%
85,50	86,69	86,50	87,00	0,37	0,3	86,50	89,44	15,80%	10,25%
144,00	144,29	144,00	144,50	0,36	0,3	144,00	148,86	14,10%	10,28%
140,50	140,65	140,50	141,00	0,38	0,3	140,50	145,11	14,14%	10,38%
178,00	178,90	178,50	179,00	0,35	0,3	178,50	184,57	13,86%	10,25%
126,50	125,44	125,00	125,50	0,33	0,3	125,00	129,41	15,22%	10,12%
85,00	86,69	86,50	87,00	0,37	0,3	86,50	89,44	15,17%	10,25%
177,50	178,85	178,50	179,00	0,36	0,3	178,50	184,51	13,64%	10,29%
178,50	179,64	179,50	180,00	0,38	0,3	179,50	185,33	13,71%	10,41%
152,00	152,82	152,50	153,00	0,36	0,3	152,50	157,66	13,85%	10,27%
158,50	159,16	159,00	159,50	0,38	0,3	159,00	164,20	13,94%	10,39%
154,50	155,20	155,00	155,50	0,38	0,3	155,00	160,12	14,02%	10,36%
158,00	158,55	158,50	159,00	0,39	0,3	158,50	163,57	14,03%	10,46%
135,00	135,41	135,00	135,50	0,34	0,3	135,00	139,70	14,14%	10,17%
151,00	151,83	151,50	152,00	0,36	0,3	151,50	156,64	13,83%	10,26%
69,00	68,03	68,00	68,50	0,39	0,3	68,00	70,19	16,05%	10,45%
155,50	156,12	156,00	156,50	0,38	0,3	156,00	161,07	14,04%	10,41%
150,50	151,27	151,00	151,50	0,36	0,3	151,00	156,07	13,94%	10,30%
257,00	259,92	259,50	260,00	0,37	0,3	259,50	268,15	13,33%	10,32%
72,50	71,44	71,00	71,50	0,28	0,3	71,50	73,70	15,86%	10,59%
155,00	156,73	156,50	157,00	0,37	0,3	156,50	161,70	13,27%	10,34%
136,00	137,70	137,50	138,00	0,37	0,3	137,50	142,06	13,22%	10,34%
156,00	157,33	157,00	157,50	0,36	0,3	157,00	162,32	13,55%	10,27%
70,00	68,99	68,50	69,00	0,26	0,3	69,00	71,18	15,95%	10,51%
155,50	157,95	157,50	158,00	0,34	0,3	157,50	162,95	12,84%	10,18%
144,00	145,60	145,50	146,00	0,39	0,3	145,50	150,21	13,23%	10,43%

Nota: Fuente propia

Como se puede apreciar en la anterior tabla, partiendo de un Volumen de pedido posible 1 se opta por elegir el volumen (+/- medio cubo) que garantice la altura mínima de descabezado pactada (condicional). Es así, como se valida el método por parte de producción y se procede a aplicarlo.

5.2 Aplicación y resultados

Esta aplicación se da en la estación (E-E) la cual ha sido la última en ejecutarse en el año 2018. Para la etapa de aplicación quedaban 12 módulos por ejecutar y dar por concluido los muros pantalla de dicha estación.

Aplicándose a los últimos módulos y siguiendo con la medición de datos es que se obtiene una reducción a 10.5% de desperdicio de concreto como se puede apreciar:

Figura 31. Desperdicio Producción vs. Desperdicio Productividad

Fuente: Propia

El porcentaje de desperdicio promedio de producción fue de 15%; mientras que, el de productividad fue de 10.50%.

Considerando el precio de concreto es: \$90.52/m³ se obtiene los siguientes resultados:

Tabla 15

Ahorro de concreto en dólares de haberse aplicado el método en todos los módulos E-E

ITEM	Volumen (m3)	Costo (USD)	Ahorro (USD)
CONCRETO PEDIDO REAL	8,111.01	734,208.40	-
CONCRETO RECOMENDADO PRODUCTIVIDA	7,847.50	710,355.70	23,852.70

Nota: Fuente propia

Entonces, si se hubiese aplicado a toda la estación E-E el recalcu lo de pedido de concreto se hubiese ahorrado \$ 23,852.70 en esta estación. Ya que se aplicó en los 12 últimos módulos se obtiene el ahorro real:

Tabla 16

Ahorro de concreto en dólares de haberse aplicado el método en todos los módulos E-E

ITEM	Volumen (m3)	Costo (USD)	Ahorro (USD)
CONCRETO PEDIDO REAL	1,797.37	162,697.75	-
CONCRETO RECOMENDADO PRODUCTIVIDA	1,739.00	157,414.28	5,283.47

Nota: Fuente propia

El ahorro que se obtenido en la aplicación de la presente tesis es de \$5,283.47 para solo un 20% de la estación, donde se pudo aplicar una mejora. Este valor deberá ser proyectado a las futuras estaciones obteniéndose así un ahorro estimado de \$524,759.42, el cual, se logró empleando los siguientes recursos:

- Dos obreros
- 1 ingeniero de productividad para la supervisión de trabajos y recopilación de datos

Estos recursos pueden ser cuantificados a un estimado de \$1,880.00/mes. Como se presentó anteriormente la toma de datos tomo 46 días aproximadamente lo que da un total de \$ 2,813.00 como costo de implementación; por lo que se concluye que el costo beneficio respalda la implementación de esta mejora a futuras estaciones donde se emplearan muros pantalla. Lo que hace rentable invertir recursos en busca de una mejora de procesos como se puede ver en el siguiente gráfico.

Figura 32. Variación de Porcentaje de Desperdicio de concreto en el tiempo

Fuente: propia

Como se puede apreciar en el anterior grafico el porcentaje de desperdicio va disminuyendo en cada etapa. Se tiene que:

- Primera Etapa: Porcentaje de desperdicio de 16.17% en promedio.
- Segunda Etapa: Porcentaje de desperdicio de 14.19% en promedio, el cual, disminuye drásticamente con tan solo la presencia de personal externo supervisando o controlando los recursos empleados.
- Tercera Etapa: Porcentaje de desperdicio de 10.26% en promedio, luego de aplicar el método a los doce últimos módulos.

Además, se observó respecto a la altura de descabezados la siguiente variación:

Figura 33. Evolución de la Altura de descabezados E-E

Fuente: propia

Como se puede ver la altura de descabezados ha disminuido con el paso de las etapas de incorporación de la mejora continua. Esta disminución en descabezados también representa un ahorro en otros recursos; ya que, estos deberán ser demolidos posteriormente empleando recursos como horas hombre y horas maquinas. Esta variación le da un valor agregado al presente método desarrollado, el cual, sin ser medido representa una reducción en los recursos invertidos al momento de descabezar los muros pantalla.

Finalmente, como parte de la elaboración de la mejora continua se obtienen un nuevo margen de desperdicio, el cual, es de 10.5% del volumen teórico según EDI obteniendo como resultado un valor que no coincide con los criterios de pedido de concreto; es decir, no están redondeados a medio cubo más cercano tanto para un margen superior como inferior. Como se indicó en la presente tesis, las designaciones de responsabilidades de pedido de concreto finalizan en el capataz encargado de pedir el concreto que se emplea en la estación (muros pantalla, muros guías, pilotes, etc.). Por ello, es que se hace entrega a producción de la plantilla que se puede apreciar en el Anexo N° 03, en la cual, este valor (producto del 10.50% del Volumen del EDI) es representado en los márgenes superiores e inferiores para pedido de concreto. Para poder discernir entre qué valor emplear se tomará como condición la altura mínima de descabezado que se pactó con producción, el cual, es de 0.30 m. obteniendo así el valor exacto a pedir al proveedor de concreto sin lugar a error humano.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

- Al momento de ejecutarse los Muro Pantalla no se busca cumplir con las mediciones fijadas en el EDI como es la altura de los descabezados originando así un desperdicio de concreto de 101.6 m³ de concreto en la E-E.
- La Base de datos de control del área de costos no permite visualizar el real desperdicio en el proceso; ya que, no se miden los elementos sobredimensionados (descabezados), en su lugar, se incorpora este volumen al elemento.
- Mediante Pareto se identifica que las partidas con mayor incidencia en las cimentaciones profundas contra terreno son: excavación, acero y concreto
- Sobre la partida “concreto”; es una partida en la que se puede aplicar una mejora continua para posteriormente desarrollar un método con pocos recursos empleados.
- Se observó una oportunidad de Mejora en el proceso de vaciado de concreto partiendo del hecho de que la altura promedio de descabezado de producción fue de 0.78, cuando el EDI indica una altura de descabezado de 0.30 m a 0.40 m.
- Funciones como el pedido de los materiales son delegados a personal que no cuenta con la capacidad de ajustar o sincerar el porcentaje de desperdicio.
- Ausencia de supervisión genera descuido en el empleo de recursos, como se puede apreciar en un gráfico anteriormente mostrado, el desperdicio de 16.17% (antes de informar acerca de la implementación de una mejora) disminuye a 14.19%.
- En el caso de cimentaciones profundas, es necesario sincerar el margen de desperdicio; puesto que, este valor es dado teóricamente en base a anteriores proyectos considerando el mayor margen de desperdicio.
- Se evaluó las deficiencias del proceso, observando y midiendo, se pudo cuantificar el porcentaje de desperdicio de concreto por irregularidades, el cual, es en promedio 10.50 %.
- La primera reacción de producción es el rechazo al cambio; debido al temor de falta de concreto, por parte de producción, es que se toma el valor máximo del porcentaje de desperdicio de 10.50% por irregularidad del terreno, siendo este un valor optado por temas de seguridad.

- Con el método desarrollado en la presente tesina se logró reducir el desperdicio de concreto de 17% a 10.50% en los muros pantallas de la estación en estudio.
- Es posible desarrollar un método para reducir considerablemente el volumen de desperdicio de concreto que repercutirá de manera positiva en la productividad y costo del proyecto, empleando pocos recursos humanos y materiales. Ya que, la relación costo beneficio positiva; puesto que, se podría valorizar los recursos empleados en \$2,313.00 y lo ahorrado en \$ 5,284.00, el cual, proyectado se estima en \$ 524,760.00
- Se puede apreciar que los desperdicios en la altura de descabezado (promedio: 0.52m.) y mixer (0.98 m3) se pueden reducir más si es que se considera el promedio del desperdicio por irregularidades en el terreno.

6.2 RECOMENDACIONES

- Incorporar el concepto de Mejora Continua a todas las áreas para que así busquen siempre mejorar en función a lo considerado inicialmente.
- Incorporar la teoría del “Brench Marking” para que el personal busque identificar, comparar y aprender de las buenas prácticas impartidas en otros proyectos, las cuales, fueron exitosas.
- Entablar y mantener siempre una buena comunicación entre el área de producción y las áreas que controlan el proceso de distintas maneras (plazo, costo y calidad); ya que, implementar una mejora continua solo es posible incorporando al proceso a los involucrados.
- Producción debe identificar lo que es realmente el alcance para que lo que esta demás se pueda visualizar como un desperdicio, como en el caso de la altura de descabezados.
- El área de costos debe asignar los sobredimensionamientos, por ejemplo, como una partida de desperdicio de concreto. Así se podrá identificar fácilmente una oportunidad de mejora desde dicha área.
- Invertir en personal encargado únicamente de mejorar la productividad; puesto, que el costo beneficio resulta ser positivo.

- El personal anteriormente mencionado, bajo las funciones asignadas, deberá realizar visitas a campo (supervisar), lo cual, generará un mejor uso de los recursos (ahorro).
- Analizar la situación actual del proyecto; ya que, los valores considerados en el EDI o expediente técnico son referenciales; por lo tanto, se pueden ajustar a valores reales en campo.
- Incorporar graficas de control para poder hacer un seguimiento a la mejora del proceso estableciendo límites.
- Puesto que, no involucra muchos recursos la implementación de esta mejora hace accesible esta implementación a todo proyecto con un proceso constructivo similar.

7. REFERENCIAS

- S. Arboleda, Presupuesto y Programación de Obras Civiles. Medellín, 2007.
- M. Berenson y D. Levine, Estadística básica en administración. Nueva York, 1996.
- E. De La Parra, Guía Práctica para lograr Calidad en el Servicio. México, 1997.
- D. Anderson; D. Sweeney; T. Williams, Estadística para Administración y Economía. México, 2008.
- P. Amdt, Just in Time: El Sistema de producción Justo a Tiempo. España, 2005.
- A. Delers; B. Feys, “El benchmarking”, *50 Minutos*, vol. 42, pp. 4, Abril 2016.
- A. De Saeger, “El diagrama de Ishikawa: Solucionar los problemas desde su raíz”, *50 Minutos*, col. 32, pp. 4, Abril 2016.
- M. Fernandez y J. Sánchez, Eficacia Organizacional, Concepto, desarrollo y evaluación. Madrid, 1997.
- M. Fernandez, El control, fundamentos de la gestión por procesos. Madrid, 2003.
- A. Galgano, Los Siete Instrumentos de la Calidad Total. Madrid, 1995.
- V. Ghio, Productividad en Obras de Construcción: Diagnóstico, Crítica Y Propuesta. Lima, 2001.
- I. Guerra, Evaluación y Mejora Continua. Indiana, 2007.
- B. Hansen y P. Ghare, Control de calidad: teoría y aplicaciones. Madrid, 1990.
- D. Moore, Estadística aplicada básica. España, 2000.
- G. Patiño, Planeamiento de un presupuesto de construcción. Colombia, 2007.
- T. Ohno, Toyota Production System Beyond Large-Scale Production. Oregon, 1988.

8. ANEXOS

Anexo 1: Desperdicio de concreto en estaciones.

				SEGUIMIENTO A LA EJECUCIÓN DE PANTALLAS													
				EXCAVACIÓN							HORMIGONADO						
				3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14		
MODULO	TIPO	COD MURO PANTALLA	LONGITUD	PROFUNDIDA D TEÓRICA (m)	PROFUNDIDA D REAL (m)	ALTURA SOBREENCAVACIÓN (m)	EXCAVACIÓN TEÓRICO (m2)	EXCAVACIÓN REAL (m2)	% SOBREENCAVACIÓN	SOBREENCAVACIÓN (m2)	FECHA DE VACIADO	VOLUMEN TEÓRICO (m3)	VOLUMEN PEDIDO (m3)	% DESPERDICIO DE CONCRETO	DESPERDICIO DE CONCRETO (m3)		
4		4E-23	5.27	19.28	19.68	0.40	101.62	102.77	1.13%	1.15		103.73	119.00	14.72%	15.27		
5		5E-23	5.27	19.34	19.74	0.40	101.91	103.29	1.35%	1.38		104.02	119.00	14.40%	14.98		
6		6E-23	5.26	19.39	19.79	0.40	102.01	103.10	1.07%	1.09		104.11	118.00	13.34%	13.89		
7		7E-23	5.27	19.45	19.85	0.40	102.49	104.08	1.55%	1.59		104.60	120.00	14.72%	15.40		
8		8E-23	5.27	19.50	19.90	0.40	102.79	103.82	1.00%	1.03		104.89	119.00	13.45%	14.11		
9		9E-23	5.27	19.56	19.96	0.40	103.08	104.35	1.23%	1.27		105.18	121.00	13.04%	13.82		
10		10E-23	5.09	19.61	20.01	0.40	99.83	100.93	1.10%	1.10		101.86	117.00	14.88%	15.14		
11		11E-23	5.09	19.67	20.07	0.40	100.09	101.55	1.46%	1.46		102.13	118.00	13.54%	13.87		
12		12E-23	5.44	19.72	20.12	0.40	107.29	109.07	1.68%	1.78		109.47	126.00	13.10%	16.53		
13		13E-23	5.44	19.78	20.18	0.40	107.60	108.80	1.12%	1.20		109.78	126.00	14.78%	18.22		
14		14E-23	5.44	19.84	20.24	0.40	107.91	109.07	1.07%	1.16		110.09	127.00	13.36%	16.91		
15		15E-23	5.10	19.89	20.29	0.40	101.44	102.87	1.41%	1.43		103.48	118.00	14.03%	14.52		
16		16E-23	5.09	19.94	20.34	0.40	101.51	103.33	1.79%	1.82		103.55	119.00	14.92%	15.45		
17		17E-23	4.84	19.99	20.39	0.40	96.77	98.49	1.78%	1.72		98.71	113.00	14.48%	14.29		
18		18E-23	4.84	20.05	20.45	0.40	97.02	98.49	1.52%	1.47		98.95	113.00	14.20%	14.05		
19		19E-23	4.84	20.10	20.50	0.40	97.26	98.49	1.26%	1.23		99.20	114.00	14.92%	14.80		
20		20E-23	5.98	20.16	20.56	0.40	120.54	121.59	0.71%	0.85		122.94	142.00	13.50%	19.06		
21		21E-23	4.80	20.20	20.60	0.40	96.93	97.44	0.51%	0.49		98.87	113.00	14.29%	14.13		
22		22E-23	4.80	20.26	20.66	0.40	97.24	98.40	1.19%	1.16		99.18	113.00	13.97%	13.84		
23		23E-23	4.80	20.31	20.71	0.40	97.49	98.69	1.23%	1.20		99.41	114.00	14.88%	14.59		
24		24E-23	4.80	20.36	20.76	0.40	97.73	99.20	1.50%	1.47		99.83	113.00	13.40%	13.33		
25		25E-23	4.80	20.41	20.81	0.40	97.97	98.40	0.44%	0.43		99.89	113.00	13.13%	13.11		
26		26E-23	5.80	20.45	20.85	0.40	118.59	119.31	0.61%	0.72		120.91	139.00	14.96%	18.09		
27		27E-23	6.25	20.45	20.85	0.40	127.79	128.75	0.75%	0.96		130.29	150.00	13.13%	19.71		
28		28E-23	5.25	20.45	20.85	0.40	107.34	108.68	1.25%	1.34		109.44	126.00	13.13%	16.56		
29		29E-23	5.25	20.45	20.85	0.40	107.34	108.41	1.00%	1.07		109.44	126.00	13.13%	16.56		
30		30E-23	5.25	20.45	20.85	0.40	117.58	118.18	0.51%	0.60		119.88	137.00	14.30%	17.14		
31		31E-23	4.93	20.42	20.82	0.40	100.68	101.61	0.92%	0.93		102.63	117.00	13.98%	14.35		
32		32E-23	4.92	20.37	20.77	0.40	100.22	101.84	1.62%	1.62		102.18	116.00	13.53%	13.82		
33		33E-23	4.80	19.95	19.35	0.40	78.56	77.28	0.94%	0.72		78.48	90.00	14.88%	11.52		
34		34E-23	3.80	20.29	20.69	0.40	77.11	77.79	0.88%	0.68		78.83	91.00	13.73%	12.37		
35		35E-23	2.40	20.25	20.65	0.40	48.59	48.84	0.51%	0.25		49.55	57.00	13.04%	7.45		
36		36E-23	5.30	20.25	20.65	0.40	107.31	109.18	1.74%	1.87		109.43	126.00	13.14%	16.57		
37		37E-23	2.49	20.23	20.63	0.40	50.57	51.17	1.59%	0.60		51.56	58.00	12.93%	6.84		
38		38E-23	3.40	20.20	20.60	0.40	68.68	69.36	0.99%	0.68		70.04	80.00	14.22%	9.96		
39		39E-23	6.85	20.17	20.57	0.40	134.10	136.33	1.66%	2.23		136.76	158.00	13.53%	21.24		
40		40E-23	4.84	20.10	20.50	0.40	97.26	98.74	1.52%	1.48		99.20	112.00	12.90%	12.80		
41		41E-23	4.84	20.05	20.45	0.40	97.02	98.01	1.02%	0.99		98.95	113.00	14.20%	14.05		
42		42E-23	4.84	19.99	20.39	0.40	96.77	98.49	1.78%	1.72		98.71	113.00	14.48%	14.29		
43		43E-23	5.09	19.94	20.34	0.40	101.51	102.82	1.29%	1.31		103.55	119.00	14.92%	15.45		
44		44E-23	5.09	19.89	20.29	0.40	101.24	102.56	1.30%	1.32		103.28	119.00	13.22%	13.72		
45		45E-23	5.44	19.84	20.24	0.40	107.91	109.07	1.07%	1.16		110.09	127.00	13.36%	16.91		
46		46E-23	5.44	19.78	20.18	0.40	107.60	108.82	1.88%	2.02		109.78	124.00	12.93%	14.22		
47		47E-23	5.44	19.72	20.12	0.40	107.29	109.07	1.68%	1.78		109.47	126.00	13.10%	16.53		
48		48E-23	5.09	19.67	20.07	0.40	100.10	101.90	1.80%	1.80		102.14	118.00	13.57%	13.86		
49		49E-23	5.09	19.61	20.01	0.40	99.83	101.04	1.21%	1.21		101.86	118.00	13.83%	16.14		
50		50E-23	5.45	19.56	19.96	0.40	106.60	108.18	1.48%	1.58		108.78	124.00	13.99%	15.22		
51		51E-23	5.45	19.50	19.90	0.40	106.29	108.18	1.78%	1.89		108.47	124.00	14.12%	15.53		
52		52E-23	5.45	19.45	19.85	0.40	105.98	107.37	1.31%	1.39		108.16	124.00	14.64%	15.84		
53		53E-23	5.45	19.39	19.79	0.40	105.66	106.82	1.10%	1.16		107.84	123.00	14.06%	15.16		
54		54E-23	5.45	19.33	19.73	0.40	105.35	107.37	1.92%	2.02		107.53	124.00	13.12%	16.47		
55		55E-23	5.45	19.27	19.67	0.40	105.04	105.73	0.66%	0.69		107.22	124.00	13.63%	16.78		
56		56E-23	5.45	19.20	19.60	0.40	104.63	106.55	1.82%	1.90		106.83	122.00	14.20%	15.17		
57		57E-23	5.45	19.16	19.56	0.40	104.42	106.28	1.78%	1.86		106.60	122.00	14.45%	15.40		
58		58E-23	5.10	19.09	19.49	0.40	97.35	98.43	1.11%	1.08		99.39	114.00	14.70%	14.81		
59		59E-23	6.25	19.07	19.47	0.40	119.21	120.94	1.45%	1.73		121.71	141.00	13.85%	19.29		
60		60E-23	5.25	19.07	19.47	0.40	100.13	101.06	0.93%	0.93		102.23	118.00	13.43%	13.77		
61		61E-23	5.25	19.07	19.47	0.40	100.13	101.06	0.93%	0.93		102.23	118.00	13.43%	13.77		
62		62E-23	6.25	19.07	19.47	0.40	119.21	120.63	1.19%	1.42		121.71	140.00	13.03%	18.29		
63		63E-23	5.05	11.58	11.98	0.40	58.49	59.84	2.31%	1.35		60.51	69.00	14.03%	8.49		
64		64E-23	5.80	11.58	11.98	0.40	67.18	68.73	2.31%	1.55		69.50	80.00	13.11%	10.50		

Anexo 2: Reducción del margen de desperdicio

LONGITUD	PROFUNDIDAD TEÓRICA (m)	PROFUNDIDAD REAL (m)	ALTURA SOBREECAVACIÓN (m)	EXCAVACIÓN TEÓRICA (m²)	EXCAVACIÓN REAL (m²)	% SOBREECAVACIÓN	SOBREECAVACIÓN (m²)	FECHA DE VACIADO	VOLUMEN TEÓRICO INC. DESCABEZADO (m³)	ALTURA DESCABEZADO (m)	VOLUMEN CALC. PRODUCCIÓN (m³)	VOLUMEN MEDIDO (m³)	VOLUMEN MIXER (m³)	% DESP EN EL MIXER	VOLUMEN DE DESCABEZADO EXCESO (m³)	VOLUMEN EFECTIVO POR PANTALLA (m³)	VOLUMEN POR IRREGULARIDAD (m³)	% DESPERDICIO POR IRREGULARIDAD TERRENO	PERDIDAS DE CONCRETO (m³)
2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	17	18	19	20	21	22	23
5.30	19.65	20.05	0.82	104.15	106.27	2.04%	2.12	15-10-18	110.61	0.82	121.14	121.00	1.20	1.08%	4.35	115.45	11.31	10.22%	15.24%
7.30	19.84	20.24	0.90	144.83	147.75	2.02%	2.92	16-10-18	154.32	0.90	168.44	168.50	1.45	0.94%	6.57	160.48	15.65	10.14%	15.34%
6.70	10.91	11.31	0.73	73.10	75.78	3.67%	2.68	18-10-18	80.67	0.73	86.39	88.00	2.00	2.48%	4.89	81.11	8.01	9.93%	18.47%
6.70	10.91	11.31	0.64	73.10	75.78	3.67%	2.68	19-10-18	80.07	0.64	86.39	87.00	1.65	2.06%	4.29	81.06	7.96	9.95%	17.36%
6.40	19.84	20.24	0.83	126.98	129.54	2.02%	2.56	20-10-18	134.85	0.83	147.67	148.00	2.00	1.48%	5.31	140.69	13.71	10.17%	15.59%
6.90	19.84	20.24	0.90	136.90	139.66	2.02%	2.76	21-10-18	145.87	0.90	159.21	159.50	1.90	1.30%	6.21	151.39	14.49	9.94%	15.50%
6.70	10.91	11.31	0.66	73.10	75.78	3.67%	2.68	22-10-18	80.20	0.66	86.39	86.50	1.30	1.62%	4.42	80.78	7.68	9.58%	16.71%
6.01	19.14	19.54	0.75	115.02	117.42	2.09%	2.40	23-10-18	121.93	0.75	133.86	134.00	1.90	1.56%	4.51	127.59	12.57	10.31%	15.57%
6.70	10.91	11.31	0.72	73.10	75.78	3.67%	2.68	24-10-18	80.60	0.72	86.39	86.50	1.50	1.86%	4.82	80.18	7.08	8.78%	16.63%
6.20	19.20	19.60	0.85	119.06	121.54	2.08%	2.48	25-10-18	126.81	0.85	138.55	138.50	1.30	1.03%	5.27	131.93	12.87	10.15%	15.33%
6.70	10.91	11.31	0.41	73.10	75.78	3.67%	2.68	26-10-18	78.52	0.41	86.39	85.50	1.70	2.16%	2.75	81.05	7.96	10.13%	15.80%
6.34	19.80	20.20	0.49	125.51	128.04	2.02%	2.54	27-10-18	131.15	0.49	145.97	144.00	1.90	1.45%	3.11	138.99	13.49	10.28%	14.10%
6.20	19.73	20.13	0.60	122.33	124.81	2.03%	2.48	28-10-18	128.53	0.60	142.28	140.50	1.20	0.93%	3.72	135.58	13.25	10.31%	14.14%
8.06	19.29	19.69	0.50	155.45	158.68	2.07%	3.22	29-10-18	162.71	0.50	180.89	178.00	1.60	0.98%	4.03	172.37	16.92	10.40%	13.86%
5.90	18.44	18.84	0.87	108.80	111.16	2.17%	2.36	30-10-18	116.29	0.87	126.72	126.50	1.50	1.29%	5.13	119.87	11.07	9.52%	15.22%
6.70	10.91	11.31	0.40	73.10	75.78	3.67%	2.68	31-10-18	78.46	0.40	86.39	85.00	1.30	1.66%	2.68	81.02	7.92	10.10%	15.17%
8.10	19.18	19.58	0.45	155.37	158.61	2.09%	3.24	02-11-18	162.26	0.45	180.82	177.50	1.60	0.99%	3.65	172.26	16.88	10.40%	13.64%
8.06	19.37	19.77	0.48	156.12	159.35	2.07%	3.22	03-11-18	163.22	0.48	181.65	178.50	1.70	1.04%	3.87	172.93	16.81	10.30%	13.71%
6.99	18.99	19.39	0.54	132.71	135.50	2.11%	2.80	04-11-18	139.28	0.54	154.47	152.00	1.70	1.22%	3.77	146.53	13.82	9.92%	13.85%
7.26	19.04	19.44	0.59	138.23	141.13	2.10%	2.90	05-11-18	145.42	0.59	160.89	158.50	1.70	1.17%	4.28	152.52	14.29	9.82%	13.94%
7.30	18.44	18.84	0.59	134.61	137.53	2.17%	2.92	06-11-18	141.84	0.59	156.79	154.50	1.40	0.99%	4.31	148.79	14.18	10.00%	14.02%
7.26	18.96	19.36	0.58	137.68	140.58	2.11%	2.90	07-11-18	144.79	0.58	160.26	158.00	1.20	0.83%	4.21	152.59	14.91	10.30%	14.03%
6.35	18.50	18.90	0.63	117.46	120.00	2.16%	2.54	08-11-18	124.00	0.63	136.80	135.00	1.50	1.21%	4.00	129.50	12.04	9.71%	14.14%
6.99	18.86	19.26	0.60	131.81	134.61	2.12%	2.80	09-11-18	138.80	0.60	153.45	151.00	1.00	0.72%	4.19	145.81	14.00	10.08%	13.83%
3.20	18.44	18.84	0.62	59.01	60.29	2.17%	1.28	10-11-18	62.27	0.62	68.73	69.00	1.60	2.57%	1.98	65.42	6.41	10.29%	16.05%
7.26	18.66	19.06	0.58	135.48	138.38	2.14%	2.90	11-11-18	142.59	0.58	157.76	155.50	1.00	0.70%	4.21	150.29	14.81	10.39%	14.04%
6.99	18.79	19.19	0.51	131.31	134.10	2.13%	2.80	12-11-18	137.67	0.51	152.88	150.50	1.30	0.94%	3.56	145.64	14.33	10.41%	13.94%
12.21	18.46	18.86	0.52	225.45	230.34	2.17%	4.88	13-11-18	236.69	0.52	262.58	257.00	1.00	0.42%	6.35	249.65	24.20	10.22%	13.33%
3.20	19.40	19.80	0.70	62.09	63.37	2.06%	1.28	14-11-18	65.61	0.70	72.24	72.50	1.40	2.13%	2.24	68.86	6.77	10.31%	15.86%
7.26	18.74	19.14	0.55	136.03	138.93	2.13%	2.90	16-11-18	142.93	0.55	158.39	155.00	1.60	1.12%	3.99	149.41	13.38	9.96%	13.27%
6.45	18.52	18.92	0.49	119.45	122.03	2.16%	2.58	18-11-18	125.19	0.49	139.12	136.00	1.00	0.80%	3.16	131.84	12.39	9.89%	13.22%
7.26	18.81	19.21	0.53	136.58	139.48	2.13%	2.90	20-11-18	143.33	0.53	159.01	156.00	1.10	0.77%	3.85	151.05	14.48	10.10%	13.55%
3.20	18.71	19.11	0.72	59.88	61.16	2.14%	1.28	22-11-18	63.46	0.72	69.72	70.00	1.30	2.05%	2.30	66.40	6.52	10.27%	15.95%
7.26	18.89	19.29	0.42	137.13	140.04	2.12%	2.90	24-11-18	143.09	0.42	159.64	155.50	1.10	0.77%	3.05	151.35	14.22	9.94%	12.84%
6.50	19.47	19.87	0.41	126.56	129.16	2.05%	2.60	26-11-18	131.83	0.41	147.24	144.00	1.00	0.76%	2.67	140.34	13.77	10.45%	13.23%
6.44	18.59	18.99	0.47	119.73	122.31	2.15%	2.58	28-11-18	134.76	0.47	139.43	137.00	1.20	0.89%	3.03	132.77	13.04	9.68%	10.10%
7.95	19.54	19.94	0.55	155.32	158.50	2.05%	3.18	30-11-18	171.69	0.55	180.69	177.50	1.00	0.58%	4.37	172.13	16.81	9.79%	10.40%
6.81	18.67	19.07	0.54	127.13	129.85	2.14%	2.72	02-12-18	142.80	0.54	148.03	145.50	0.90	0.63%	3.68	140.92	13.80	9.66%	10.13%
6.99	19.08	19.48	0.51	133.34	136.14	2.10%	2.80	04-12-18	148.91	0.51	155.20	152.50	1.00	0.67%	3.56	147.94	14.59	9.80%	10.48%
6.99	18.93	19.33	0.57	132.32	135.12	2.11%	2.80	06-12-18	148.31	0.57	154.03	151.50	0.74	0.50%	3.98	146.78	14.45	9.75%	10.21%
3.20	11.01	11.41	0.49	35.23	36.51	3.63%	1.28	08-12-18	48.80	0.49	41.62	41.50	0.75	1.54%	1.57	39.18	3.95	8.09%	9.81%
7.05	19.45	19.85	0.54	137.14	139.96	2.06%	2.82	10-12-18	152.94	0.54	159.55	157.00	1.10	0.72%	3.81	152.09	14.96	9.78%	10.31%
6.41	19.84	20.24	0.51	127.19	129.76	2.02%	2.56	12-12-18	142.46	0.51	147.92	145.50	1.15	0.81%	3.27	141.08	13.89	9.75%	10.34%
7.70	19.73	20.13	0.53	151.88	154.96	2.03%	3.08	14-12-18	167.96	0.53	176.66	173.50	0.94	0.56%	4.08	168.48	16.60	9.88%	10.41%
6.20	19.26	19.66	0.49	119.44	121.92	2.08%	2.48	16-12-18	134.47	0.49	138.99	136.50	0.97	0.72%	3.04	132.49	13.06	9.71%	10.13%
7.26	19.12	19.52	0.53	138.77	141.68	2.09%	2.90	18-12-18	154.62	0.53	161.51	159.00	1.20	0.78%	3.85	153.95	15.18	9.82%	10.32%
7.26	18.59	18.99	0.52	134.93	137.84	2.15%	2.90	20-12-18	150.71	0.52	157.14	154.50	1.05	0.70%	3.78	149.67	14.74	9.78%	10.49%

Anexo 3: Formulación de pedido de concreto

EDI						114.0%										
ALTURA DE DESCABEZADO (m)	LONGITUD (m)	ESPESOR (m)	ALTURA total sin descabezado (m)	ALTURA TOTAL (m)	VOLUMEN EDI M3 (m3)	VOLUMEN PEDIDO REAL (m3)	VOLUMEN PRODUCTIVIDAD (INICIAL)	PEDIDO POSIBLE 1	PEDIDO POSIBLE 2	h Calc.	hmin	VOLUMEN RECOMENDADO PRODUCTIVIDAD (m3)	VOLUMEN CRITERIO INICIAL PRODUCCION (m3)	% DE PRODUCCION	% DE DESPERDICIO PRODUCTIVIDAD	
0.40	5.30	1.00	20.05	20.45	108.39	121.00	119.77	119.50	120.00	0.35	0.3	119.50	123.56	15.24%	10.25%	
0.40	7.30	1.00	20.24	20.64	150.67	168.50	166.49	166.00	167.00	0.34	0.3	166.00	171.77	15.34%	10.17%	
0.40	6.70	1.00	11.31	11.71	78.46	88.00	86.69	86.50	87.00	0.37	0.3	86.50	89.44	18.47%	10.25%	
0.40	6.70	1.00	11.31	11.71	78.46	87.00	86.69	86.50	87.00	0.37	0.3	86.50	89.44	17.36%	10.25%	
0.40	6.40	1.00	20.24	20.64	132.10	148.00	145.97	145.50	146.00	0.33	0.3	145.50	150.59	15.59%	10.15%	
0.40	6.90	1.00	20.24	20.64	142.42	159.50	157.37	157.00	158.00	0.35	0.3	157.00	162.35	15.50%	10.24%	
0.40	6.70	1.00	11.31	11.71	78.46	86.50	86.69	86.50	87.00	0.37	0.3	86.50	89.44	16.71%	10.25%	
0.40	6.01	1.00	19.54	19.94	119.83	134.00	132.41	132.00	133.00	0.34	0.3	132.00	136.60	15.57%	10.16%	
0.40	6.70	1.00	11.31	11.71	78.46	86.50	86.69	86.50	87.00	0.37	0.3	86.50	89.44	16.63%	10.25%	
0.40	6.20	1.00	19.60	20.00	124.02	138.50	137.04	137.00	137.50	0.39	0.3	137.00	141.38	15.33%	10.47%	
0.40	6.70	1.00	11.31	11.71	78.46	85.50	86.69	86.50	87.00	0.37	0.3	86.50	89.44	15.80%	10.25%	
0.40	6.34	1.00	20.20	20.60	130.58	144.00	144.29	144.00	144.50	0.36	0.3	144.00	148.86	14.10%	10.28%	
0.40	6.20	1.00	20.13	20.53	127.29	140.50	140.65	140.50	141.00	0.38	0.3	140.50	145.11	14.14%	10.38%	
0.40	8.06	1.00	19.69	20.09	161.90	178.00	178.90	178.50	179.00	0.35	0.3	178.50	184.57	13.86%	10.25%	
0.40	5.90	1.00	18.84	19.24	113.52	126.50	125.44	125.00	125.50	0.33	0.3	125.00	129.41	15.22%	10.12%	
0.40	6.70	1.00	11.31	11.71	78.46	85.00	86.69	86.50	87.00	0.37	0.3	86.50	89.44	15.17%	10.25%	
0.40	8.10	1.00	19.58	19.98	161.85	177.50	178.85	178.50	179.00	0.36	0.3	178.50	184.51	13.64%	10.29%	
0.40	8.06	1.00	19.77	20.17	162.57	178.50	179.64	179.50	180.00	0.38	0.3	179.50	185.33	13.71%	10.41%	
0.40	6.99	1.00	19.39	19.79	138.30	152.00	152.82	152.50	153.00	0.36	0.3	152.50	157.66	13.85%	10.27%	
0.40	7.26	1.00	19.44	19.84	144.04	158.50	159.16	159.00	159.50	0.38	0.3	159.00	164.20	13.94%	10.39%	
0.40	7.30	1.00	18.84	19.24	140.45	154.50	155.20	155.00	155.50	0.38	0.3	155.00	160.12	14.02%	10.36%	
0.40	7.26	1.00	19.36	19.76	143.49	158.00	158.55	158.50	159.00	0.39	0.3	158.50	163.57	14.03%	10.46%	
0.40	6.35	1.00	18.90	19.30	122.54	135.00	135.41	135.00	135.50	0.34	0.3	135.00	139.70	14.14%	10.17%	
0.40	6.99	1.00	19.26	19.66	137.40	151.00	151.83	151.50	152.00	0.36	0.3	151.50	156.64	13.83%	10.26%	
0.40	3.20	1.00	18.84	19.24	61.57	69.00	68.03	68.00	68.50	0.39	0.3	68.00	70.19	16.05%	10.45%	
0.40	7.26	1.00	19.06	19.46	141.29	155.50	156.12	156.00	156.50	0.38	0.3	156.00	161.07	14.04%	10.41%	
0.40	6.99	1.00	19.19	19.59	136.90	150.50	151.27	151.00	151.50	0.36	0.3	151.00	156.07	13.94%	10.30%	
0.40	12.21	1.00	18.86	19.26	235.22	257.00	259.92	259.50	260.00	0.37	0.3	259.50	268.15	13.33%	10.32%	
0.40	3.20	1.00	19.80	20.20	64.65	72.50	71.44	71.00	71.50	0.28	0.3	71.50	73.70	15.86%	10.59%	
0.40	7.26	1.00	19.14	19.54	141.84	155.00	156.73	156.50	157.00	0.37	0.3	156.50	161.70	13.27%	10.34%	
0.40	6.45	1.00	18.92	19.32	124.61	136.00	137.70	137.50	138.00	0.37	0.3	137.50	142.06	13.22%	10.34%	
0.40	7.26	1.00	19.21	19.61	142.38	156.00	157.33	157.00	157.50	0.36	0.3	157.00	162.32	13.55%	10.27%	
0.40	3.20	1.00	19.11	19.51	62.44	70.00	68.99	68.50	69.00	0.26	0.3	69.00	71.18	15.95%	10.51%	
0.40	7.26	1.00	19.29	19.69	142.94	155.50	157.95	157.50	158.00	0.34	0.3	157.50	162.95	12.84%	10.18%	
0.40	6.50	1.00	19.87	20.27	131.76	144.00	145.60	145.50	146.00	0.39	0.3	145.50	150.21	13.23%	10.43%	
0.40	6.44	1.00	18.99	19.39	124.88	137.00	138.00	137.50	138.00	0.33	0.3	137.50	142.37	10.10%	10.10%	
0.40	7.95	1.00	19.94	20.34	161.68	177.50	178.66	178.50	179.00	0.38	0.3	178.50	184.31	10.40%	10.40%	
0.40	6.81	1.00	19.07	19.47	132.57	145.50	146.50	146.00	146.50	0.33	0.3	146.00	151.14	10.13%	10.13%	
0.40	6.99	1.00	19.48	19.88	138.93	152.50	153.52	153.50	154.00	0.40	0.3	153.50	158.38	10.48%	10.48%	
0.40	6.99	1.00	19.33	19.73	137.91	151.50	152.39	152.00	152.50	0.35	0.3	152.00	157.22	10.21%	10.21%	
0.40	3.20	1.00	11.41	11.81	37.79	41.50	41.76	41.50	42.00	0.33	0.3	41.50	43.08	9.81%	9.81%	
0.40	7.05	1.00	19.85	20.25	142.78	157.00	157.77	157.50	158.00	0.37	0.3	157.50	162.77	10.31%	10.31%	
0.40	6.41	1.00	20.24	20.64	132.32	145.50	146.21	146.00	146.50	0.37	0.3	146.00	150.85	10.34%	10.34%	
0.40	7.70	1.00	20.13	20.53	158.04	173.50	174.64	174.50	175.00	0.38	0.3	174.50	180.17	10.41%	10.41%	
0.40	6.20	1.00	19.66	20.06	124.40	136.50	137.46	137.00	137.50	0.33	0.3	137.00	141.81	10.13%	10.13%	
0.40	7.26	1.00	19.52	19.92	144.58	159.00	159.76	159.50	160.00	0.37	0.3	159.50	164.82	10.32%	10.32%	
0.40	7.26	1.00	18.99	19.39	140.74	154.50	155.52	155.50	156.00	0.40	0.3	155.50	160.45	10.49%	10.49%	
														% PROM DESPERDICIO	14%	10%

Anexo 4: Plano de Vista en Planta de Estación

Anexo 5: Plano de Vista de Perfil de Estación 20

Anexo 6: Perfil de muro pantalla