



Instituto
Europeo
de Posgrado

Mejora de capacidad de almacenamiento de aditivos en planta cementera

Trabajo fin de estudio presentado por:	Annie Karina Espinoza Freire
Tipo de trabajo:	Trabajo Fin de Programa
Director/a:	Lorena Carrillo Barbosa
Fecha:	Marzo 2026

Índice

1	Resumen	4
2	Abstract	4
3	Introducción	5
3.1	Objetivo General	5
3.2	Objetivos Específicos	5
3.3	Metodología	5
3.3.1	Identificación y Análisis del Problema	6
3.3.2	Planificación de la Solución	6
4	Identificación y descripción un problema al interior de la organización	7
4.1	Descripción de la empresa a intervenir	7
4.1.1	Misión	7
4.1.2	Visión	7
4.1.3	Mapa de procesos	8
4.1.4	Descripción del proceso a intervenir	8
4.1.5	Descripción del problema que presenta el proceso	9
5	Establecimiento de planes de acción para la solución del problema	10
5.1	Establecimiento de objetivos	10
5.2	Descripción de la solución	10

■ Trabajo Fin de Máster

5.3	Secuencia de actividades para ejecución de la solución	11
5.4	Descripción de recursos necesarios para la ejecución de la solución	11
6	Definición del alcance de la solución, partes interesadas, cronograma y presupuestos.	13
6.1	Alcance final de la solución	13
6.2	Identificación de responsables de las actividades para ejecución	13
6.3	Cronograma de ejecución	14
6.4	Presupuesto	14
7	Referencias bibliográficas	16

1 Resumen

La molienda de cemento es una de las etapas más importantes en el proceso de fabricación, ya que influye en el desempeño del producto terminado y conlleva el mayor consumo de recursos, lo que genera gran interés para su optimización del proceso. Esto ha convertido al uso de aditivos de molienda en una de las prácticas más empleadas para mejorar y mantener indicadores relacionados al volumen producido respecto a la dosificación requerida por tonelada producida.

Este trabajo de investigación explora la disponibilidad del material en una planta de cemento de la ciudad de Guayaquil, en Ecuador y la justificación de aumentar la capacidad de almacenamiento del mismo respecto a costos de no producción y compensación de calidad en materias primas por falta del aditivo debido a factores externos o internos. Se plantea la gestión de proyecto hacia la proponer la colocación de un tanque de recepción en el área debido al aumento de producción y dosificación del mismo en la descripción del producto.

Palabras clave: Aditivos, molienda, rendimiento, factor clinker, tanque

2 Abstract

Cement grinding is one of the most critical stages in the manufacturing process, as it influences the performance of the finished product and accounts for the greatest consumption of resources, generating significant interest in process optimization. This has made the use of grinding additives one of the most common practices for improving and maintaining indicators related to the volume produced in relation to the required dosage per ton produced.

This research explores the availability of the material at a cement plant (company name approval still pending) in Guayaquil, Ecuador, and the justification for increasing its storage capacity in relation to the costs of loss production and the compensation for quality issues in raw materials due to a lack of the additive caused by external or internal factors. The project management plan proposes the installation of a receiving tank in the area due to the increased production and dosage requirements specified in the product description.

Keywords: Additives, grinding, yield, Clinker factor, tank

3 Introducción

La molienda de cemento es una de las etapas más importantes en el proceso de fabricación. En este punto intervienen las materias primas principales como clinker, yeso y materiales de adición para alcanzar propiedades físicas y mecánicas mediante el secado, la reducción de material y el transporte a silos para el almacenamiento final. Uno de los aspectos más importantes de la molienda es la adecuada distribución de tamaño de partículas de material (finura) puesto que facilita la reacciones de hidratación involucradas en su uso en mortero, lo que se traduce en mejores resistencias a edades tempranas, una característica ampliamente evaluada como parte de calidad de cementos de uso general. (Hewlett & Liska, 2019)

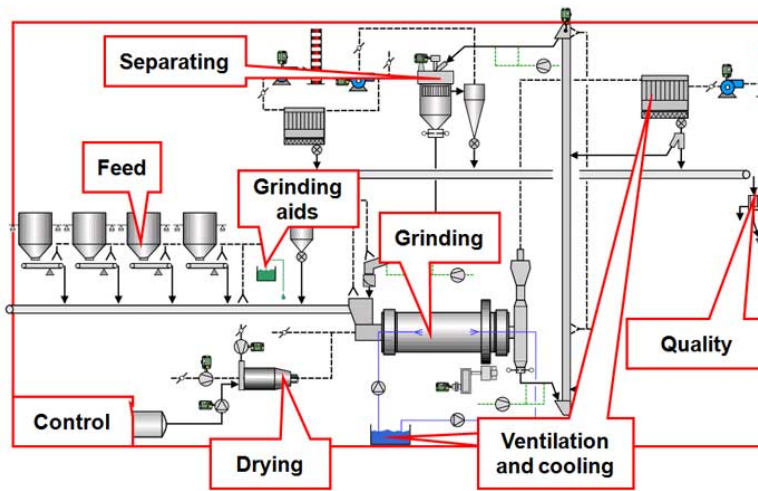
Existen varias tecnologías empleadas para fabricación del cemento, siendo el más antiguo y explorado el uso de molinos tubulares con carga de cuerpos molidores debido a su control de finura del cemento y bajos costos de mantenimiento en comparación al creciente uso de molinos verticales de rodillos que se aventajan con su aumento en tasas de producción y reducción de consumo energético en al menos de un 40%-70%. (Paredes et al., 2024)

En la siguiente imagen (Figura 1) se detallan los equipos principales de un circuito cerrado de molienda de cemento con un molino tubular de bolas, teniendo en la alimentación (Feed) de un sistema de tolvas con dosificadores hacia una banda transportadora hacia la entrada del molino o chute de alimentación, un sistema de reducción de tamaño de material (Grinding) y control de finura de cemento (Separating), donde el material más fino es enviado hacia almacenamiento, mientras que los no pasantes retornan al proceso hasta conseguir las características requeridas.

Otros equipos auxiliares presentes son los controles de temperatura mediante ventilación o secado con inyección de gases o con inyección de agua, además de agregar aditivos de molienda (Grinding aids). Al final se toman muestras para ensayos de calidad mediante muestreadores manuales o automáticos ubicados en la línea de descarga hacia silos.

Figura 1

Diagrama de flujo de proceso de molienda de cemento en molino de bolas



Nota. Tomado de Unidad de molienda de cemento, por AGICO Cement Machinery Co. (n.d.). en <https://cementplants.es/cement-grinding-plants/>

Para el aprovechamiento de las tecnologías mostradas se emplean compuestos denominados aditivos de molienda, que aún en pequeñas cantidades (0.01-0.10 w/w%) dosificadas al interior del molino, ejercen como agentes dispersantes que reducen la aglomeración de las partículas finas del proceso al disminuir las fuerzas de atracción intermoleculares que facilitan la conminución del material, su transporte en el circuito y se evitan pérdidas por el recubrimiento en los cuerpos moledores y en el revestimiento del molino (Figura 2) (Gartner & Myers, 1993).

Figura 2

Recubrimiento de cemento de cuerpos moledores y revestimiento de molino en moliendas sin aditivos



Nota. Tomado de *Effect of Grinding Aids in Cement Grinding*, por Hashim, S. F. S., & Hussin, H., 2018, en Journal of Physics: Conference Series, 1082(1).

Dentro de un proceso convencional, estos aditivos de molienda son dosificados desde la alimentación al molino, como se observa en Figura 1, donde “Grinding aids” se colocan hacia la entrada del equipo de molienda junto a las materias primas. Otras ubicaciones recurrentes para colocar aditivos por la atomización contracorriente en el ducto de descarga del molino. (Njiru, E. N. et al, 2023) Estos usos dependen del diseño del molino, proporción calidad del clinker y compuestos de adición, así como de la capacidad de los sistemas de transporte de material a los silos de almacenamiento, ya que generan la tendencia a descargar el material del equipo con más facilidad, manteniendo o mejorando la calidad por control de finura y aumentando el volumen producido. Hashim, S. F. S., & Hussin, H. (2018).

En resumen, la implementación de aditivos permite aumentar la eficiencia del sistema de molienda entre un 15% - 25% y reducir el consumo energético de molienda, donde reside el mayor consumo de energía, y por ende, costos de una planta de cemento. De la misma manera, facilitan la incorporación de compuestos de adición, implicando una reducción del factor clinker (tonelada de clinker por tonelada de material cementicio) y, por ende, a menores emisiones de dióxido de carbono (CO₂) al ambiente. (Zan & Ishak, 2023; Popov & Chernev, 2024).

Por lo que se vuelve relevante el estudio de aditivos de molienda y el aseguramiento de su dosificación, puesto que mantiene calidad de producto (resistencias), permite reducir costos variables respecto al volumen producido por la mejora de rendimientos y emisiones al ambiente generados por la compensación del factor clinker de un cemento sin aditivos.

3.1 Objetivo General

El objetivo de este proyecto fue estimar las tendencias de consumo de aditivo líquido para la evaluación de la estrategia de aumento de capacidad de almacenamiento durante el proceso de molienda de cemento de una planta cementera. Los datos estudiados mostraron la oportunidad de aumentar la capacidad de recepción de material, así como generar prácticas operativas que reduzcan el lead time de aprovisionamiento y uso del material, de tal forma que se asegure calidad y eficiencia del proceso.

3.2 Objetivos Específicos

1. Definir metodología para el estudio de datos en un período anual de producción mediante la generación de condiciones excluyentes de procesos..
2. Determinar las pérdidas por costo de calidad e inactividad de eventos sin dosificación de aditivo por bajo inventario para la generación de un plan de acción basado en el aumento de capacidad.
3. Establecer el alcance de la intervención, cronograma y presupuesto de la compra de un tanque para asegurar la correcta implementación.

3.3 Metodología

La estructura definida presentó tres etapas secuenciales, en las que se abordan aspectos específicos para la intervención del problema detectado. En la primera etapa se establecen los valores de proceso necesarios para visibilizar y sistematizar las ocurrencias del problema de bajo stock de aditivo en planta. La segunda fase incurrió en centrarse en los objetivos y actividades para abordar las distintas causas presentadas en la fase anterior. En la tercera fase, ya se involucran aspectos relacionados al proyecto como un trabajo que requiere un cronograma, un presupuesto y la asignación de responsabilidades basadas en la estructura actual de la empresa.

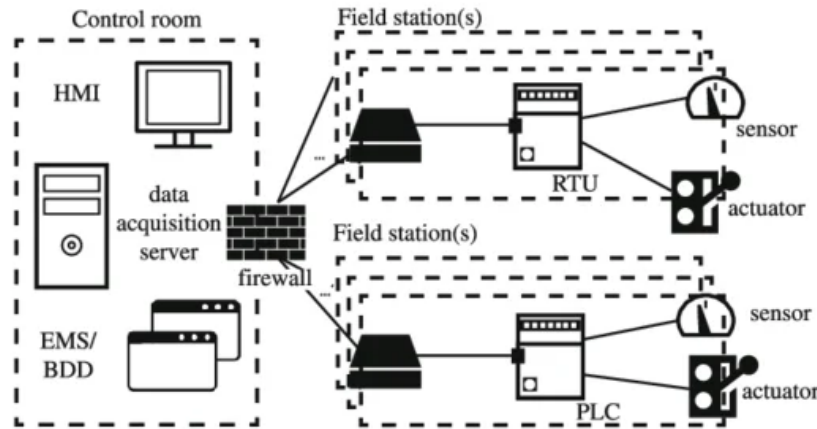
3.3.1 Identificación y Análisis del Problema

Como primera parte del análisis se definen las condiciones de estudio para los datos históricos empleados de producción de uno de nuestros tres equipos de molienda de cemento, el molino de cemento 1 "MC1", durante el período abril 2025 - marzo 2026. Esto debido al tener un portafolio de productos más distintivos entre sí y que facilitan la segregación de datos y la exposición del problema identificado.

El problema fue identificado a partir de la variación de toneladas producidas para la demanda creciente de 2025 a 2026 con relación a eventos de corte de inyección del aditivo por bajo inventario en planta. La base de datos consultada es propia de la empresa y es recopilada mediante la recepción de señales del sistema de control de supervisión y adquisición de datos de planta (SCADA) (Figura 3) y transmitida mediante las pantallas de tendencias del cuarto de control de procesos o el centro de datos de la compañía.

Figura 3

Estructura general de un SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition)

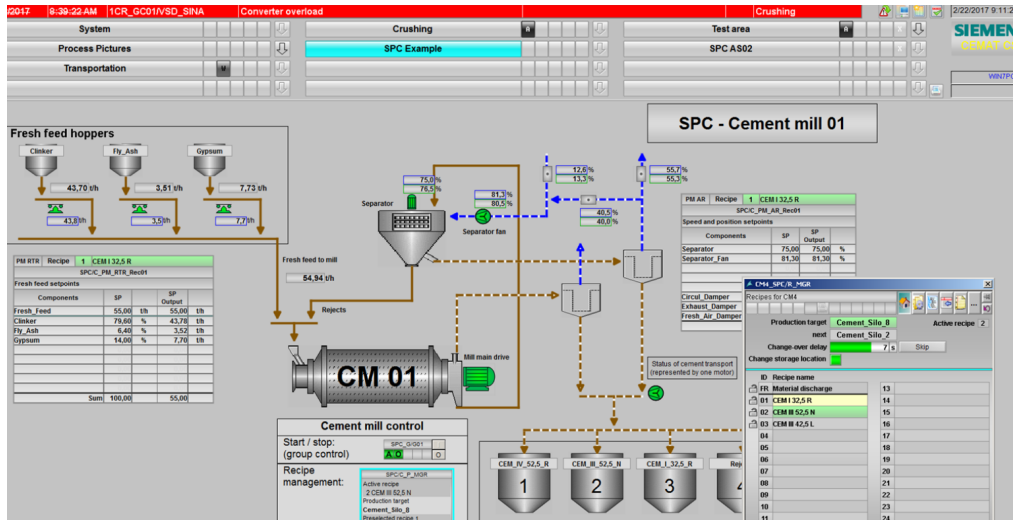


Nota. La imagen presenta dos tipos de bloques importantes, de lado izquierdo el cuarto de control (Control room) con su sistema de interacción humano-máquina (HMI) y sistema de gestión de energía (EMS), y de la lado derecho dos estaciones de campo (Field station(s)) con dos receptores diferentes de señales del proceso de sensores y actuadores. Tomado de *An integrated testbed for locally monitoring SCADA systems in smart grids*, por Chromik, J. J., Remke, A., & Haverkort, B. R., 2018, *Energy Informatics*, 1(1).

El registro de esos datos permite tener una trazabilidad alta de señales de proceso, como se pueden visualizar en las siguientes imágenes, en la Figura 4 se visualizan valores en recuadros tales como los flujos de masa de materias primas para la alimentación de la molienda (inventarios), las mediciones a tiempo real de temperatura de cemento, presión de aire del sistema, velocidad y amperaje de equipos de molienda (control de procesos y calidad) y los niveles de silos de almacenamiento de cemento (inventarios/programación de producción). Después se pueden evaluar tendencias (Figura 5) de los valores mediante el mismo sistema de control y estos son recopilados por el sistema de centro de datos segundo a segundo.

Figura 4

Pantalla del SCADA de una molienda de cemento en sistema SIEMENS

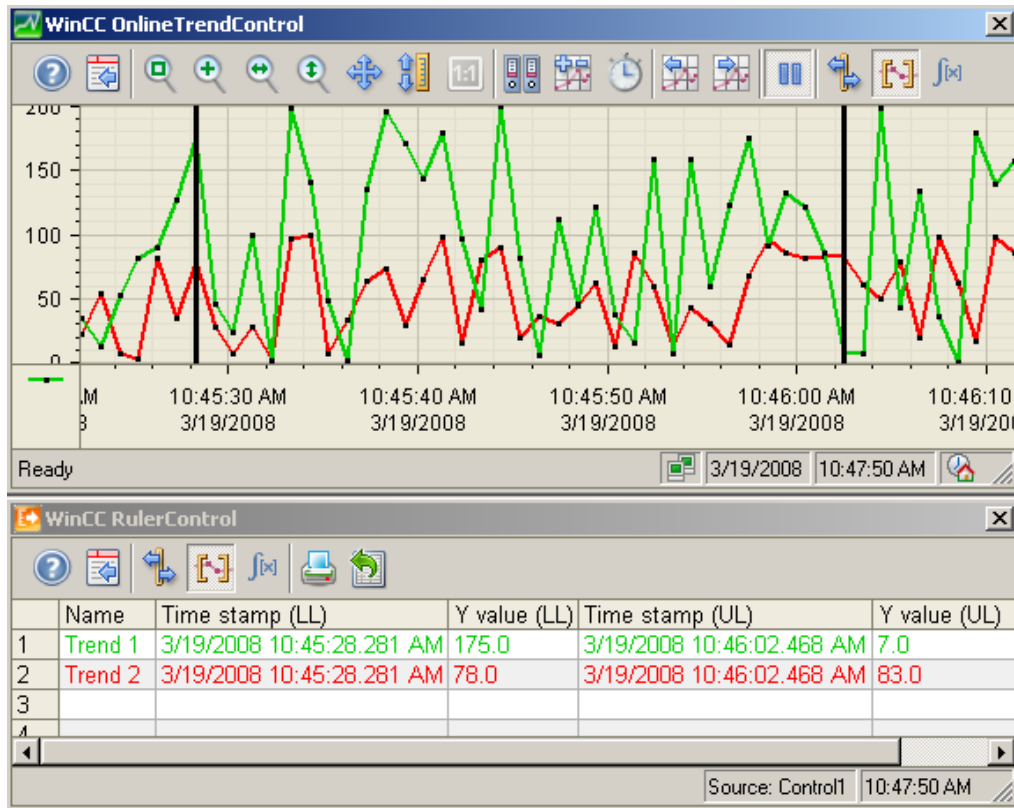


Nota. La imagen muestra un esquema básico de un SCADA de molienda, en la parte superior izquierda se tienen tolvas de materiales para la alimentación, las cuales por flechas se conectan al proceso de molienda “CM 01” y un equipo separador, finalmente descargan a silos ubicados en la parte inferior derecha. Adaptado de *The Role of Siemens Products in Cement Factories: A Comprehensive Guide*, por INFINITY FOR CEMENT EQUIPMENT. (n.d.), en

<https://www.cementequipment.org/home/the-role-of-siemens-products-in-cement-factories-a-comprehensive-guide/>

Figura 5

Pantalla de tendencias generadas en sistema SIEMENS



Nota. La imagen muestra una ventana de tendencias generadas por señales de proceso segundo a segundo. Adaptado de *How to Generate Statistics of Runtime Data - WinCC V8.0: Working with WinCC.*, por Industry Support Siemens. (2023), en <https://support.industry.siemens.com/cs/mdm/109818253?c=44049676427&lc=en-PH>

Una vez detallado el sistema de recopilación de datos, se requirió realizar un tratamiento de datos para la segregación de eventos bajo ciertos criterios para emular la premisa:

“Cortar la inyección por bajo stock en tanques de almacenamiento”

Lo desafiante de generar las condiciones para detección de eventos provienen del mismo objeto de la recopilación de datos, siendo la detección visual mediante gráficas el principal uso de esos datos, más que la detección de eventos. en largos periodos de tiempo. Por eso, la limitación más grande fue tener filas de datos incompletas o muestras con frecuencia mayor a la horaria porque el sistema ajusta los cambios de forma escalonada

■ Trabajo Fin de Máster

para la frecuencia requerida, al tener un análisis anual solo se reflejan ciertos puntos por el alto volumen de datos, comportamiento escalonado que se visualiza en la figura 5. Esto se solventó acotando la mayor cantidad de datos a valores basados en capacidad de equipos y guías referenciales de proceso y calidad.

Las principales señales de proceso empleadas fueron:

- Alimentación al molino (toneladas por horas)
- Valor pedido de balanza de clinker (Cantidad de clinker por receta de tipo de cemento) (%)
- Nivel de tanque #1 y #2 de aditivo para molinos de bola
- Valor medido de aditivo (Porcentaje de aditivo de inyección al molino por la alimentación) (%)
- Flujo de inyección de aditivo (metro cúbico por hora) (m^3/h)

Teniendo las siguientes consideraciones, :

Discriminar las diferentes presentaciones que emplean el mismo aditivo:

Para clasificar los tipos de cementos se tienen los siguientes rangos de factor clinker (tonelada de clinker/tonelada de cemento), las cuales se adaptan a las guías de calidad del año 2025 - 2026

- Terraflow: 29 - 34%
- GU: 35 - 77.5%
- HE: 77.5 - 85%
- OPC: 86 - 97%

Se puede observar que el grupo GU contempla el rango más amplio del factor clinker, ya que para las diferentes transiciones entre producciones se tiene una gestión de silos que contabilizan esas toneladas producidas como una producción tipo GU, ya que se realizan compensaciones con otros compuestos de adición para manejar las variaciones de factor clinker. Una vez teniendo valores estables, se almacenan los cementos de los otros tipos en los rangos establecidos previamente, la regla es que es posible estabilizar el proceso de un cemento especial (FC >77%) en un silo de un cemento que tenga menor factor clinker antes para no afectar la calidad de un cemento especial.

Contabilizar las ocurrencias de falla en la inyección por bajo inventario se emplean los siguientes criterios excluyentes:

■ Trabajo Fin de Máster

- Valores de alimentación al molino (con factores superiores a 32 FC%) entre 45 toneladas por hora y 130 toneladas por hora: Para no incluir producción de Terraflow (sin consumo de aditivo) y desestimar datos aberrantes por fallas de señal o reinicio de servidores
- Suma de stock de tanques menor al percentil 10 (aproximadamente 12 metros cúbicos (m_3) en el período de estudio): Para excluir daños del sistema de inyección o posibles taponamientos
- Flujos de inyección menor al 1 metro cúbico por hora (m_3/h) y porcentaje de consumo menor al 1% (metro cúbico de aditivo/tonelada cementicia)

Contabilizar horas sin inyección de aditivo se emplea el siguiente criterio:

- Valor máximo después de comparación de diferencia de horas de las filas que tengan datos válidos de producción.

Después de haber tenido los datos se generaron gráficas que relacionan las pérdidas de rendimiento en el tiempo y tendencias de consumo por tipo de producto.

3.3.2 Planificación de la Solución

En la segunda etapa, se desarrolló la estructura de trabajo y su dirección relacionada al montaje de un tanque, tomando en cuenta los responsables, sus entregables y posibles restricciones.

3.3.2.1 Definición de Alcance y Recursos

La tercera etapa se enfocó en delimitar los tiempos y costos relacionados a cada paquete de trabajo, así como su forma de controlar los avances por el director del proyecto, en este caso, el coordinador del área de proyectos.

4 Identificación y descripción un problema al interior de la organización

4.1 Descripción de la empresa a intervenir

Por privacidad, al no poder compartir información de la empresa estudiada, se empleó la misión y visión de la empresa con mayor pertenencia de activos en el país durante el año 2024, que es HOLCIM ECUADOR S.A., la cual, a nivel región de América es una de más variedad de tecnologías de molienda y capacidad de volumen de clinker para exportación.

4.1.1 Misión

La misión de la empresa de referencia se detalla en su *Memoria de sostenibilidad 2022*: “Ser la compañía más respetada y exitosamente operada de nuestra industria, creando valor para nuestros clientes, empleados, accionistas y comunidad implicada.” La cual permite percibir un fuerte sentido hacia la responsabilidad social empresarial, búsqueda del desempeño operativo para la generación de valor con sus operaciones.

4.1.2 Visión

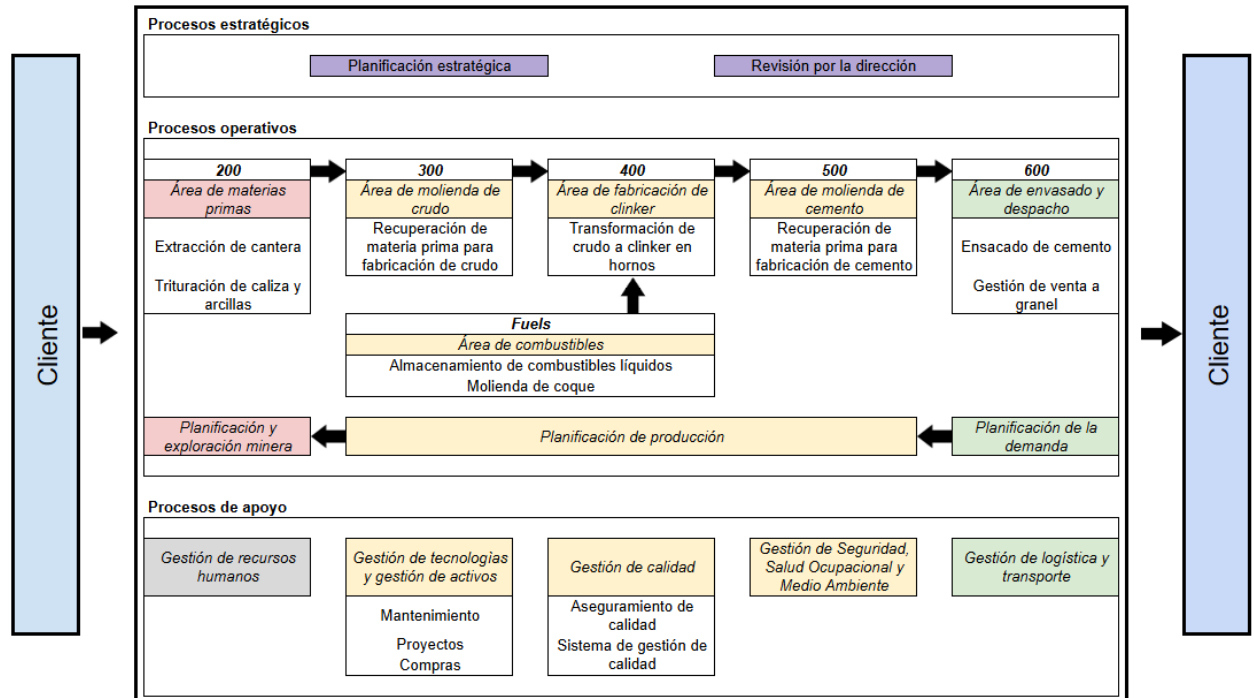
La visión, por su parte, detalla “Crear los cimientos para el futuro de la sociedad.”, estableciendo que se busca ser la primera opción en elección de la sociedad del futuro, un futuro con opciones más sostenibles para el medio ambiente.

4.1.3 Mapa de procesos

Los procesos comunes de una planta cementera involucran a procesos estratégicos involucrando la dirección y gerencias, la cual se traduce a sus mandos medios que se encargan de los procesos de planificación de materias primas, producción y estimación de la demanda. En procesos más específicos involucran la obtención y manejo de materias primas (200) para áreas de molienda de crudo (300) y cemento (500), las cuales, el área de molienda de crudo genera la alimentación a los hornos como parte del proceso de fabricación de clinker (400). El clinker es el principal componente en la fabricación de cemento al proveer las características necesarias para la formación de resistencias en cemento. Utilizando clinker y otros compuestos de adición, se produce cemento que es manejado por el área de despacho (600), ya sea en su modalidad de sacos de cemento o despacho de cemento y clinker por cisternas (a granel).

Figura 6

Mapa de procesos de una planta de cemento



Nota. Elaboración propia

4.1.4 Descripción del proceso a intervenir

Principalmente se realizó el estudio sobre las tendencias del área de molinda de cemento, las cuales a más de referir un cambio en sus procedimientos de trabajo, se tiene una mejora a nivel de indicadores de volumen. La terminología utilizada en el área la define como "inyección de aditivos", donde ocurre la atomización de un aditivo en contracorriente del flujo de descarga del molino. Se puede reemplazar sus efectos físicos por agua pero sin tener la misma efectividad dentro del proceso.

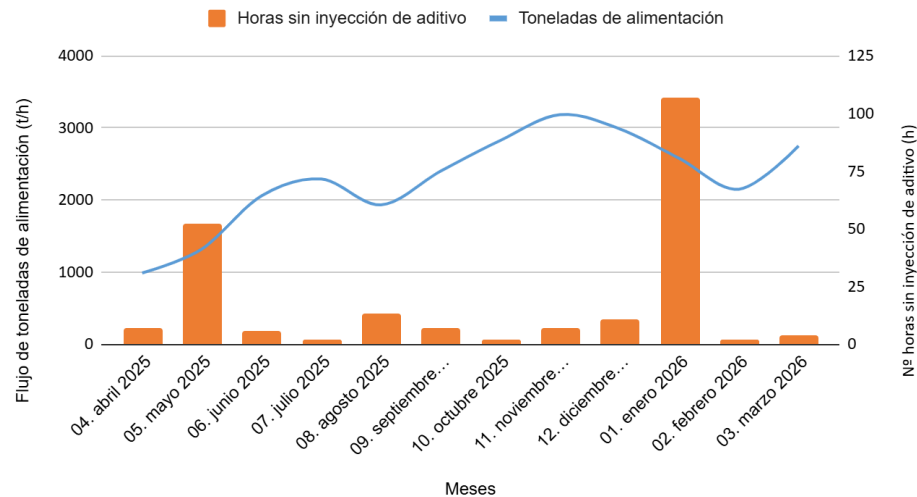
4.1.5 Descripción del problema que presenta el proceso

Dado el aumento de la demanda de volumen de cemento, al revisar las tendencias, se encuentran bajas muy pronunciadas para ser denominadas como una afectación estacional. Al generar datos de falta de inyección de aditivo se visualizó una relación directa sobre falta de vinaza y el volumen de producción, como muestra la figura 7.

Figura 7

Volumen de producción de cemento con respecto a los cortes de inyección de aditivo

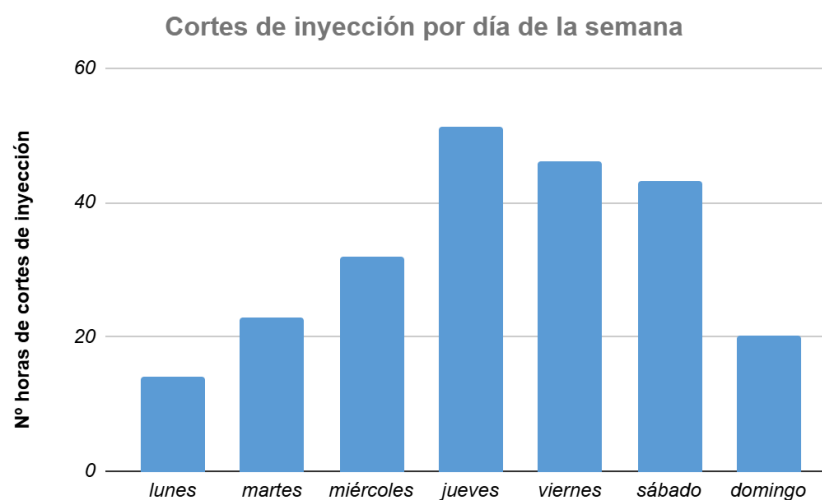
Volumen de producción de CM1 (abril 2025 - marzo 2026)



Según el equipo de operaciones, estos eventos son relacionados principalmente a mantenimientos de planta del proveedor, seguido por bajo inventario en épocas de operación normal. Generando otra tendencia se visualiza que estos eventos se suelen concentrar en los fines de semana, donde por plan de producción se suele recuperar stock por bajo consumo hacia la molienda.

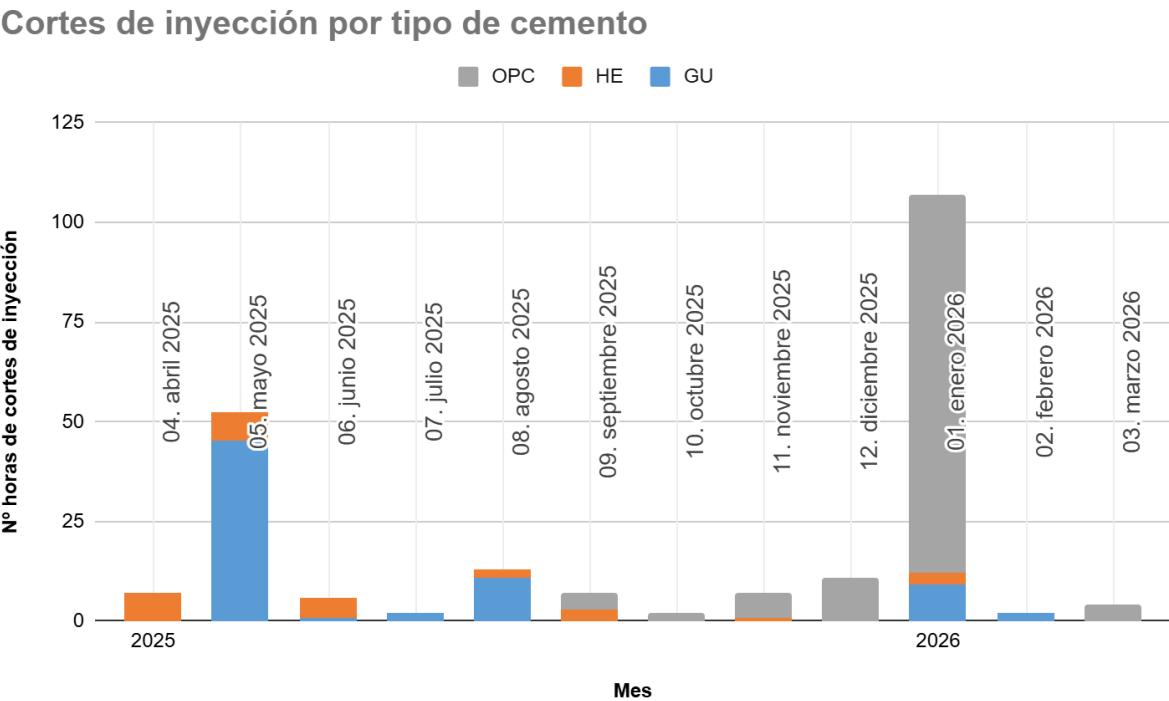
Figura 7

Distribución de fallas por día de semana



Esto también se visualiza por tipos de cemento con mayor consumo por tonelada producida.

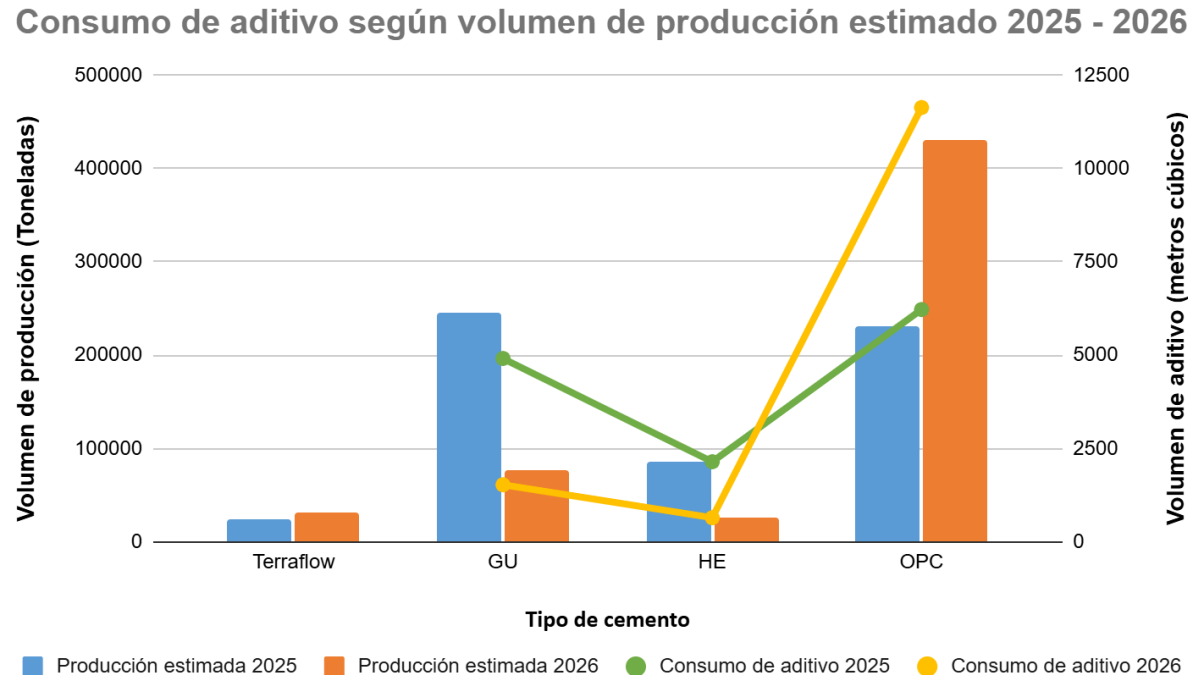
Figura 8
Eventos de corte de inyección por tipo de cemento



Aunque aún no finalice el período 2026, se tiene mayor ocurrencia de producciones de OPC, implicando un uso mayor de aditivo para la referencia OPC:.

Figura 9

Proyección de consumos de aditivo por producción



A la que adicionando los valores máximos y mínimos de rendimientos referenciales, los cuales se evidencia que los rendimientos mínimos se tienen al no tener consumo de aditivo:

Tabla 1

Variación de rendimiento de molinos

Año		Valores	GU	HE	OPC	Suma total
2025	Rendimiento máximo		83	70	80	83
	Rendimiento mínimo		48	50	67	48
2026	Rendimiento máximo		85	72	73	85
	Rendimiento mínimo		56	72	55	55

5 Establecimiento de planes de acción para la solución del problema

5.1 Establecimiento de objetivos

Para la resolución del problema se estableció que se requería:

- Identificar los principales requerimientos de construcción de un tanque con sus validaciones y entregables medibles en el tiempo.
- Estimar los costos relacionados a la construcción de un nuevo tanque de almacenamiento según la capacidad de producción proyectada para este año y el cronograma de su implementación.

5.2 Descripción de la solución

La solución más viable es la compra de un tanque para almacenar material durante los días de menor consumo.

5.3 Secuencia de actividades para ejecución de la solución

Para la construcción de un tanque adicional es requerido la reubicación de sistema de bombeo de agua hacia la molienda, así con el fin de emplear menos equipos de bombeo hasta las estaciones actuales de uso de aditivo.

Como siguiente paso se necesita especificar los materiales requeridos para la construcción del tanque y la instrumentación necesaria para el seguimiento de parámetros de proceso y automatización de acciones de llenado y consumo del mismo.

Finalmente establecer las mismas rutinas de inspección y limpieza de equipos, detallar los equipos en el árbol de equipos del sistema ERP de la planta.

5.4 Descripción de recursos necesarios para la ejecución de la solución

Los recursos necesarios para ejecutar la solución involucra:

Recursos personales:

■ Trabajo Fin de Máster

- Al dueño de área: Para actualizar sus rutas de inspección y procedimientos adecuados para la recepción del material.
- Operadores de planta: Para evaluar sus procedimientos internos de descarga.
- Coordinador de proyectos: Para gestionar el CAPEX necesario para la construcción de un nuevo tanque.

6 Definición del alcance de la solución, partes interesadas, cronograma y presupuestos.

6.1 Alcance final de la solución

La solución perpetúa la adquisición e instalación de un tanque de acero inoxidable (304) para almacenamiento de aditivos, para una capacidad de 45 metros cúbicos y su respectiva conexión al cuarto de bomba de la planta para el área de molienda de cemento, para lo cual requiere:

- Generación de planos de instalación e instrumentación detallados y colocados en el sistema de control de procesos
- Certificación de calidad de la obra (pruebas de estanqueidad del material del recubrimiento y accesorios)
- Contratación de mano de obra para trabajo civil en el terreno y su dique de contención
- Capacitación al personal operativo y actualización de procedimientos internos
- Permisos/ licencias ambientales para el manejo de derrames y gestión de desechos

6.2 Identificación de responsables de las actividades para ejecución

Tabla 2

Matriz RACI del proyecto

Responsable	Actividad	Ingeniería	Compras	Instalación	Puesta en marcha
Director del proyecto	Control de alcance, cronograma y	A	A	A	A

■ Trabajo Fin de Máster

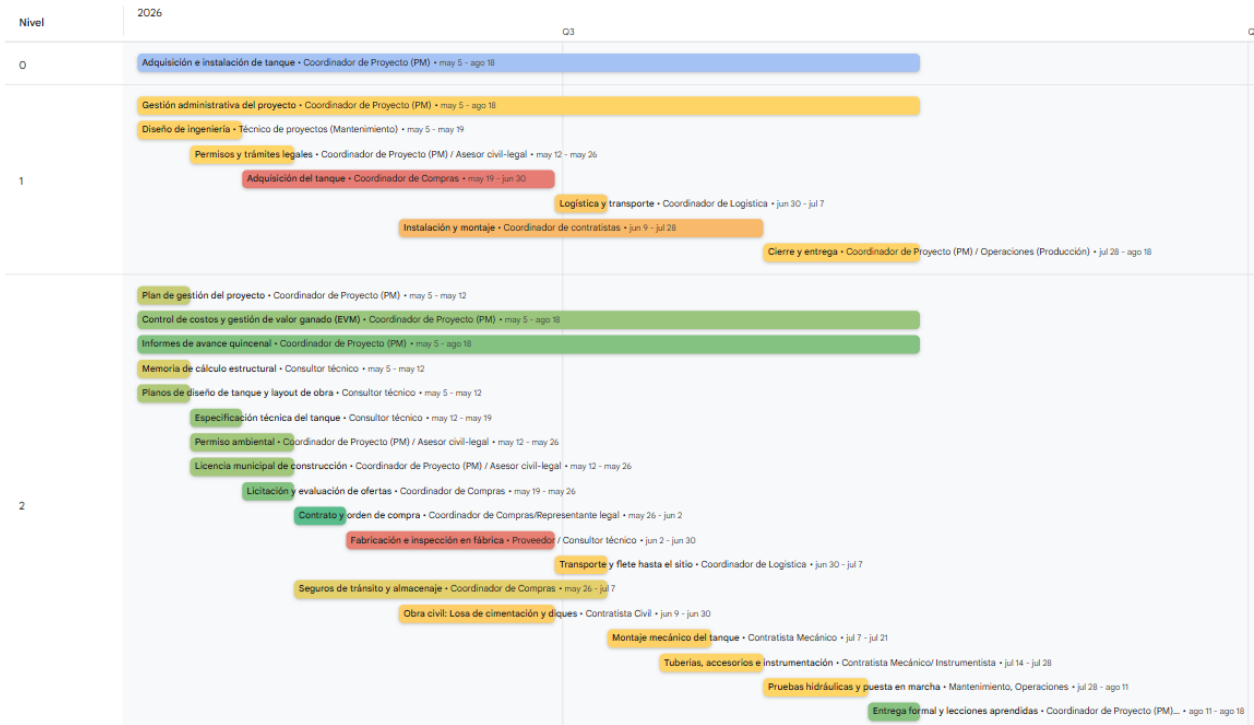
	presupuesto				
Dirección de planta	Aprobaciones y decisiones estratégicas	I	A	I	I
Mantenimiento (Proyecto)	Hoja de especificaciones técnicas, planos de construcción, memorias de cálculo, manejo de contratistas	R	C	C	R
Suministros	Licitación, negociación, contratos, logística	I	R	C	I
Seguridad y Salud	Seguimiento de normativas de seguridad durante montaje, certificaciones	C	I	C	R
Producción (Operaciones)	Recibir equipos, validación en sistema de control y campo	I	I	I	R

6.3 Cronograma de ejecución

Figura 10

Cronograma de actividades

■ Trabajo Fin de Máster



6.4 Presupuesto

Dadas las actividades, se estiman valores por cada paquete de trabajo según históricos de planta, al no poder compartir la data, se genera una simulación de los valores:

Tabla 3

Diccionario de trabajo del proyecto

■ Trabajo Fin de Máster

Código EDT	Nivel	Entregable	Descripción	Responsable	Criterios de aceptación	Entradas requeridas	Restricciones	Fecha inicio	Fecha fin	Costo	Porcentaje de costo del paquete
1.0	0	Adquisición e instalación de tanque	Proyecto terminado de adquisición, instalación y puesta en marcha de tanque de almacenamiento industrial de aditivo líquido de material acero inoxidable (AISI 304) de capacidad de 45 metros cúbicos	Coordinador de Proyecto (PM)	Sistema de almacenamiento y dosificación funcional y certificado aceptado por Operaciones	Acta de constitución del proyecto	Presupuesto aprobado para una extensión de proyecto de 16 semanas	05-05-2026	18-08-2026	\$148.500	100,00 %
1.1	1	Gestión administrativa del proyecto	Planificación, seguimiento, control y cierre administrativo del proyecto	Coordinador de Proyecto (PM)	Aprobación de gerencia de producción (Sponsor), informes entregados, documentación del cierre	Acta de constitución Aprobación de estructura de trabajo (EDT)	Disponibilidad del PM en la duración del proyecto	05-05-2026	18-08-2026	\$6.500	4,38%
1.1.2.1	2	Plan de gestión del proyecto	Documento que integra la gestión de alcance, cronograma, riesgo, calidad, comunicaciones y adquisiciones	Coordinador de Proyecto (PM)	Aprobación formal del sponsor antes del inicio de la fase de adquisición	Acta de constitución Registro de interesados	Finalización máxima hasta la semana 2	05-05-2026	12-05-2026	\$3.000	2,02%
1.1.2.2	2	Control de costos y gestión de valor ganado (EVM)	Medición quincenal de PV, EV, y AC, cálculo de CPI, SPI, CV, SV y EAC Generación de alertas por desviación	Coordinador de Proyecto (PM)	Reportes de EVM emitidos con frecuencia de 2 semanas con meta $CPI \geq 0.90$	Aprobación de línea base de costos Datos de avance de cada paquete de trabajo	Información de facturas y ejecución de trabajo relacionado	05-05-2026	18-08-2026	\$2.000	1,35%
1.1.2.3	2	Informes de avance quincenal	Reporte ejecutivo con estado de hitos, avances físicos, desviaciones y acciones correctivas	Coordinador de Proyecto (PM)	Entrega de informe dentro de los 3 días hábiles posteriores al corte del avance al sponsor	Datos de EVM Actualización de registro de riesgos	Formato de informe acordado con el sponsor en la semana 1	05-05-2026	18-08-2026	\$1.500	1,01%
1.2	1	Diseño de ingeniería	Elaboración de memorias de cálculo, planos y especificaciones técnicas del tanque y su instalación	Técnico de proyectos (Mantenimiento)	Revisión aprobada por consultores técnicos y aceptados por el proveedor antes de la emisión de la orden de compra (OC)	Requerimientos de diseño según normas API 650 y ASME aplicables Requisitos operativos del operaciones	Licitación inicia después de aprobación técnica	05-05-2026	19-05-2026	\$8.000	5,39%
1.2.2.1	2	Memoria de cálculo estructural	Cálculo de espesores, presión de diseño para las dimensiones requeridas según norma API 650 / ASME	Consultor técnico	Memoria revisada y sellada por ingeniero contratista responsable	Ficha técnica del fluido almacenado Condiciones de trabajo Norma aplicable de diseño	Requiere datos de densidad de fluido, relación H/D (altura/diámetro) y sobrecarga (presión) antes de iniciar	05-05-2026	12-05-2026	\$3.500	2,36%
1.2.2.2	2	Planos de diseño de tanque y layout de obra	Planos de planta, elevación del suelo, detalle del tanque y su cimentación Accesorios para conexión de tuberías	Consultor técnico	Planos aprobados en revisión por mantenimiento y operaciones antes de la semana 3	Memoria de cálculo aprobada Estudio topográfico del sitio	Formato y escala según disponibilidad del área	05-05-2026	12-05-2026	\$2.500	1,68%

■ Trabajo Fin de Máster

1.2.2.3	2	Especificación técnica del tanque	Documento que define material, dimensiones, acabado, accesorios según certificados y normas de diseño	Consultor técnico	Especificación aceptada por el área de compras para emitir la solicitud de propuesta (RFP)	Memoria de cálculo Planos de diseño	Acuerdo con cláusulas de garantía y pruebas de puesta en marcha	12-05-2026	19-05-2026	\$2.000	1,35%
1.3	1	Permisos y trámites legales	Obtención de todas las autorizaciones regulatorias necesarias para la instalación y operación del tanque	Coordinador de Proyecto (PM) / Asesor civil-legal	Permisos vigentes y en poder del proyecto antes del inicio de la obra civil	Planos aprobados Especificación técnica Documentación de de la empresa	Tiempos de respuesta de entidades regulatorias fuera del control del proyecto	12-05-2026	26-05-2026	\$4.300	2,90%
1.3.2.1	2	Permiso ambiental	Trámite ante la autoridad ambiental competente para almacenamiento del fluido especificado	Coordinador de Proyecto (PM) / Asesor civil-legal	Permiso emitido y vigente antes del inicio de la obra civil (semana 6)	Especificación técnica de tanque Ficha técnica del fluido (MSDS) Layout del área	Requisitos específicos para la contención de derrames y desecho de material	12-05-2026	26-05-2026	\$2.200	1,48%
1.3.2.2	2	Licencia municipal de construcción	Autorización del municipio para ejecutar obra civil en el predio	Coordinador de Proyecto (PM) / Asesor civil-legal	Licencia emitida antes del inicio de la obra civil (semana 6)	Planos arquitectónicos y estructurales aprobados Certificado del estudio de suelo	Tiempo de aprobación de trámite dependiente del municipio local	12-05-2026	26-05-2026	\$2.200	1,48%
1.4	1	Adquisición del tanque	Proceso completo de licitación, contratación y ejecución del tanque con el proveedor seleccionado	Coordinador de Compras	Tanque fabricado, inspeccionado y listo para traslado a planta con certificados de calidad de piezas	Especificación técnica aprobada Presupuesto disponible	Entrega de informe dentro de los 3 días hábiles posteriores al corte del avance al sponsor	19-05-2026	30-06-2026	\$80.000	53,87 %
1.4.2.1	2	Licitación y evaluación de ofertas	Elaboración de RFP, envío a proveedores aprobados en sistema, recepción de ofertas y evaluación técnica-económica	Coordinador de Compras	Informe de evaluación aprobado por la dirección con proveedor recomendado	Especificación técnica del tanque Lista de proveedores aprobados	Mínimo 3 ofertas válidas para proceder a negociación	19-05-2026	26-05-2026	\$1.500	1,01%
1.4.2.2	2	Contrato y orden de compra	Negociación y firma del contrato de suministro con el proveedor seleccionado Emisión de orden de compra formal	Coordinador de Compras/Rrepresentante legal	Contrato firmado y orden de compra emitida antes de la semana 5	Informe de evaluación aprobado, condiciones comerciales negociadas	Requiere aprobación de la gerencia general para montos mayores al umbral definido	26-05-2026	02-06-2026	\$500	0,34%
1.4.2.3	2	Fabricación e inspección en fábrica	Manufactura del tanque según especificación técnica con inspección en puntos críticos (ITP) y pruebas de fábrica	Proveedor / Consultor técnico	Certificado de inspección de fábrica aprobado y documentación de trazabilidad completa	Contrato firmado Orden de compra emitida Plan de inspección (ITP) acordado	Cualquier no conformidad detectada debe resolverse antes de la entrega a planta	02-06-2026	30-06-2026	\$78.000	52,53 %
1.5	1	Logística y transporte	Coordinación del transporte del tanque desde la fábrica hasta el sitio de instalación incluyendo seguros y maniobras	Coordinador de Logística	Tanque recibido en sitio sin daños con guía de despacho y lista de empaque conformes	Tanque liberado por inspección de fábrica Ruta de transporte definida	Restricciones de peso y dimensiones en la ruta terrestre Uso de equipos pesados	30-06-2026	07-07-2026	\$14.200	9,56%
1.5.2.1	2	Transporte y flete hasta el sitio	Contratación y ejecución del transporte del tanque desde fábrica del proveedor hasta la planta incluyendo maniobras de carga y descarga	Coordinador de Logística	Tanque descargado y posicionado en el área de almacenamiento temporal del sitio	Dimensiones y peso del tanque Ruta y modo de transporte definidos	Coordinación con planta para disponibilidad de área de descarga	30-06-2026	07-07-2026	\$10.500	7,07%

■ Trabajo Fin de Máster

1.5.2.2	2	Seguros de tránsito y almacenaje	Contratación de póliza de seguro que cubra el tanque durante el transporte y hasta su instalación definitiva	Coordinador de Compras	Póliza emitida con cobertura mínima igual al valor de reposición del tanque	Valor declarado del tanque Ruta y modo de transporte definidos	La póliza debe estar activa antes del despacho del proveedor	26-05-2026	07-07-2026	\$3.700	2,49%
1.6	1	Instalación y montaje	Ejecución de todos los trabajos en sitio necesarios para la instalación y conexión del tanque instalado según los planos aprobados	Coordinador de contratistas	Tanque instalado nivelado, alineado y conectado a tuberías Obra civil conforme a planos	Tanque en sitio Planos aprobados y permisos vigentes Materiales de accesorios disponibles	Uniones por soldadura (trabajo en caliente requieren permiso de trabajos de seguridad previo) Restricciones de zonas por seguridad al tipo de proceso	09-06-2026	28-07-2026	\$28.500	19,19 %
1.6.2.1	2	Obra civil: Losa de cimentación y diques	Construcción de la losa de cimentación del tanque y los diques de contención secundaria según diseño estructural	Contratista Civil	Losa nivelada con resistencia de diseño verificada, diques impermeabilizados	Planos estructurales aprobados Licencia municipal vigente Materiales en sitio	La losa debe alcanzar resistencia mínima antes de apoyar el tanque (tiempo de curado)	09-06-2026	30-06-2026	\$12.000	8,08%
1.6.2.2	2	Montaje mecánico del tanque	Izaje, posicionamiento y fijación definitiva del tanque sobre la losa de cimentación	Contratista Mecánico	Tanque nivelado fijado y alineado según planos, certificación del operador de grúa para izajes disponible	Losa con resistencia de diseño alcanzada, grúa certificada disponible, tanque en sitio	Operación de izaje requiere plan de maniobra aprobado por HSE	07-07-2026	21-07-2026	\$10.000	6,73%
1.6.2.3	2	Tuberías, accesorios e instrumentación	Instalación de toda la tubería, accesorios e instrumentos de medición según isométricos aprobados	Contratista Mecánico/Instrumentista	Pruebas de estanqueidad de tuberías, instrumentos calibrados y operativos	Isométricos aprobados, materiales de tubería en sitio, tanque montado	Prueba de presión de tuberías debe realizarse antes de la prueba hidrostática final	14-07-2026	28-07-2026	\$6.500	4,38%
1.7	1	Cierre y entrega	Verificación final del sistema: pruebas de puesta en marcha, entrega formal al área operativa y cierre administrativo del proyecto	Coordinador de Proyecto (PM) / Operaciones (Producción)	Acta de entrega firmada por Operaciones Certificados de trabajos realizados Lecciones aprendidas documentadas	Instalación completa, todos los paquetes anteriores cerrados	El cierre no puede iniciarse con observaciones pendientes del consultor técnico sobre calidad de obra	28-07-2026	18-08-2026	\$7.000	4,71%
1.7.2.1	2	Pruebas hidráulicas y puesta en marcha	Prueba hidrostática del tanque, prueba de hermeticidad de tuberías y puesta en marcha progresiva del sistema	Mantenimiento, Operaciones	Aprobaciones de pruebas físicas y verificación por parte de Operaciones	Sistema de tuberías completo Procedimientos de prueba aprobados Adición en sistema de control	Pruebas deben realizarse con personal de seguridad-medio ambiente presente, por protocolo de vaciado y disposición del fluido de prueba requerido	28-07-2026	11-08-2026	\$5.500	3,70%
1.7.2.2	2	Entrega formal y lecciones aprendidas	Firma del acta de entrega del activo, transferencia de manuales y certificados, capacitación al personal operativo y documento de lecciones aprendidas	Coordinador de Proyecto (PM) / Operaciones	Acta de entrega firmada Manuales y certificados entregados Personal capacitado Lecciones aprendidas archivadas en el sistema de gestión documental	Aprobación de comisionamiento y documentación técnica completa	La capacitación debe incluir al menos al operador líder y al personal de mantenimiento	11-08-2026	18-08-2026	\$1.600	1,08%

Instituto Europeo de Posgrado ©

Instituto Europeo de Posgrado ©

7 Referencias bibliográficas

- Gartner, E., & Myers, D. (1993). Influence of Tertiary Alkanolamines on Portland Cement Hydration. *Journal of the American Ceramic Society*, 76(6), 1521–1530.
<https://doi.org/10.1111/J.1151-2916.1993.TB03934.X;SUBPAGE:STRING:ABSTRACT;ISSUE:ISSUE:DOI>
- Hewlett, P. C., & Liska, M. (2019). Lea's Chemistry of Cement and Concrete. In *Butterworth-Heinemann* (Vol. 58, Issue 10). Butterworth-Heinemann.
- Kaya, Y., Kobya, V., Mardani, A., Mardani, N., & Beytekin, H. E. (2024). Effect of Grinding Conditions on Clinker Grinding Efficiency: Ball Size, Mill Rotation Speed, and Feed Rate. *Buildings* 2024, Vol. 14, Page 2356, 14(8), 2356. <https://doi.org/10.3390/BUILDINGS14082356>
- Paredes, J., Cepeda, J., & Lozada, J. (2024). Parameters for the Grinding Process in Vertical Mills Using Optimization Methods. *Revista Técnica "Energía,"* 20(2), 90–97.
<https://doi.org/10.37116/REVISTAENERGIA.V20.N2.2024.594>
- Zan1, S. R. M., Ishak1, K. E. H. K., Ishak, K. E. H. K., & Ishak, Z. S. R. (2023). A study of different grinding aids for low-energy cement clinker production. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 123(9), 471–478. <https://doi.org/10.17159/2411-9717/2702/2023>
- Chromik, J. J., Remke, A., & Haverkort, B. R. (2018). An integrated testbed for locally monitoring SCADA systems in smart grids. *Energy Informatics*, 1(1). <https://doi.org/10.1186/S42162-018-0058-7>
- INFINITY FOR CEMENT EQUIPMENT. (n.d.). *The Role of Siemens Products in Cement Factories: A Comprehensive Guide*. Retrieved April 24, 2026, from <https://www.cementequipment.org/home/the-role-of-siemens-products-in-cement-factories-a-comprehensive-guide/>
- Industry Support Siemens. (2023, March). *How to Generate Statistics of Runtime Data - WinCC V8.0: Working with WinCC*.
<https://support.industry.siemens.com/cs/mdm/109818253?c=44049676427&lc=en-PH>

Hashim, S. F. S., & Hussin, H. (2018). Effect of Grinding Aids in Cement Grinding. *Journal of Physics: Conference Series*, 1082(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1082/1/012091>

Popov, A., & Chernev, G. (2024). Effect of grinding aids on cement properties and grinding process. *Journal of Chemical Technology and Metallurgy*, 59(6), 1327–1330.
<https://doi.org/10.59957/JCTM.V59.I6.2024.6>

AGICO Cement Machinery Co. (n.d.). *Unidad de molienda de cemento*. Retrieved April 24, 2026, from <https://cementplants.es/cement-grinding-plants/>

Nthiga Njiru, E., Wachira Muthengia, J., Mulwa Munyao, O., Karanja Mutitu, D., & Munyao Musyoki, D. (2023). Review of the Effect of Grinding Aids and Admixtures on the Performance of Cements. *Advances in Civil Engineering*, 2023. <https://doi.org/10.1155/2023/6697842>

Holcim Ecuador S.A. (2023). *Memoria de sostenibilidad 2022*.

Taxfincorp Cía. Ltda. (n.d.). *Top 1000 Empresas de fabricación de cemento por Activos Totales 2024*. Retrieved April 26, 2026, from <https://www.tfcsmart.com/rankings/sector/fabricacion-cemento-cal-yeso-c2394/top-1000-por-activos-2024>

Instituto Europeo de Posgrado ©