



TOGETHER
for a sustainable future

OCCASION

This publication has been made available to the public on the occasion of the 50th anniversary of the United Nations Industrial Development Organisation.



TOGETHER
for a sustainable future

DISCLAIMER

This document has been produced without formal United Nations editing. The designations employed and the presentation of the material in this document do not imply the expression of any opinion whatsoever on the part of the Secretariat of the United Nations Industrial Development Organization (UNIDO) concerning the legal status of any country, territory, city or area or of its authorities, or concerning the delimitation of its frontiers or boundaries, or its economic system or degree of development. Designations such as “developed”, “industrialized” and “developing” are intended for statistical convenience and do not necessarily express a judgment about the stage reached by a particular country or area in the development process. Mention of firm names or commercial products does not constitute an endorsement by UNIDO.

FAIR USE POLICY

Any part of this publication may be quoted and referenced for educational and research purposes without additional permission from UNIDO. However, those who make use of quoting and referencing this publication are requested to follow the Fair Use Policy of giving due credit to UNIDO.

CONTACT

Please contact publications@unido.org for further information concerning UNIDO publications.

For more information about UNIDO, please visit us at www.unido.org

Distr. RESERVADA

18238

DP/ID/SER.A/1321
30 de enero de 1990

Original: ESPAÑOL

ASISTENCIA INTEGRAL A LA INDUSTRIA

DP/BOL/82/004

BOLIVIA

Informe técnico: puesta en marcha y funcionamiento inicial
de la fábrica de cemento de Tarija (Bolivia)*

Preparado para el Gobierno de Bolivia por la
Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial,
en calidad de organismo de ejecución del Programa de las
Naciones Unidas para el Desarrollo

Basado en el trabajo del señor Aníbal Enríquez
experto en ingeniería del cemento

Oficial de apoyo: J. Paschke, Subdivisión de Industrias Químicas

Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial

Viena

* La mención de empresas y de productos comerciales en el presente documento no entraña juicio alguno sobre ellos por parte de la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI). El presente documento no ha pasado por los servicios de edición de la Secretaría de la ONUDI.

OBJETO DE LA MISION

- A. Preparar un cronograma para que la fábrica de cemento entre en operación
- B. Instruir al personal nacional en las actividades relacionadas con la puesta en marcha de la fábrica
- C. Ayudar a solucionar los problemas durante la operación inicial

En cumplimiento de la gestión encomendada por la ONUDI, a partir del día 2 de enero de 1989, hasta el 31 de mayo del mismo año, se emprendieron las siguientes actividades:

1. Realización de una inspección completa de la maquinaria e instalaciones que conforman la unidad fabril "Cemento El Puente", de propiedad de CODETAR, para establecer las posibles condiciones de operación de las mismas, como paso previo a la ejecución de un programa de puesta en marcha, en base al procedimiento que para este fin se practica en la industria del cemento.

Como resultado de esta diligencia, se pudo obtener una evaluación actualizada de la situación en que se encontraban los componentes de la fábrica, al inicio de la misión, y se procedió de inmediato a elaborar un plan de puesta en marcha para la entrada en línea de la nueva fábrica boliviana de cemento Portland.

Es necesario dejar constancia de que, en razón de las circunstancias en que se ha desarrollado el proyecto y por limitaciones, unas veces de carácter logístico, otras por falta de recursos humanos, etc., fue conveniente introducir cambios y modificaciones en el programa y por tanto en el cronograma para la puesta en marcha de la fábrica.

2. Elaboración de un programa para la puesta en marcha, en el cual fundamentalmente se consideraron los siguientes aspectos o capítulos:

2.1 Verificación del grado de cumplimiento en la instalación de todos los componentes de la fábrica, en base a los planos definitivos aceptados por las partes GATX-FULLER y CODETAR.

2.2 Comprobación de las características de placa de las máquinas, sistemas de accionamiento, tamaños, capacidades, potencia, tolerancia, velocidades y otros parámetros de los componentes de la fábrica, para determinar si éstos, teóricamente, podrían satisfacer las futuras condiciones de trabajo a las que debían estar sometidos para cumplir con su cometido.

Las observaciones y comentarios sobre los resultados obtenidos en esta etapa de trabajo se indican más adelante, en el capítulo titulado "Conclusiones y recomendaciones".

2.3 Realización de un control de las instalaciones auxiliares, servicios y demás elementos que integran la fábrica, tales como: red de suministro de combustible para el proceso de fabricación, red de suministro de agua para refrigeración y servicios generales, red de aire comprimido, red de suministro de fueloil, sistema de alumbrado, sistema de drenaje, protecciones contra descargas eléctricas, etc.

- 2.4 Comprobación de la existencia de un satisfactorio sistema de generación de energía eléctrica para el accionamiento de la fábrica, que garantice capacidad, confiabilidad y disponibilidad suficientes para operar con plena capacidad de producción.
- 2.5 Verificación del funcionamiento de todos los sistemas de accionamiento: motores, cajas reductoras de velocidad, acoplamientos, correcta alimentación de energía eléctrica, correcto sentido de rotación, buen funcionamiento de los sistemas de arranque, parada, lubricación, condiciones de trabajo y protecciones de los equipos electromecánicos.
- 2.6 Control de limpieza, estanqueidad y buena operación de tuberías, válvulas, elementos de control, aberturas de inspección en ductos, silos, etc.
- 2.7 Verificación de la correcta alineación del horno rotativo, enfriador y sus rodillos de apoyo, así como de la nivelación de: trituradora de caliza, ventiladores de tiro, cojinetes de horno y enfriador, cojinetes de molinos de crudo y cemento, transportadores de material en proceso de fabricación y silos.
- 2.8 Realización de todos los trabajos complementarios que resultó necesario ejecutar para estar en condiciones de garantizar una buena operación del conjunto, por haber sido omitidos en el montaje de la fábrica, o para poder corregir alguna deficiencia.
- 2.9 Identificación clara y visible de cada uno de los equipos, de acuerdo con el código establecido en el diseño de la "línea de flujo del proceso", para efectos de control de la operación y vigilancia de cada elemento constitutivo de la fábrica.
- 2.10 Elaboración de las "hojas de control" de cada equipo para determinar su tiempo de funcionamiento, eficiencia, programa de mantenimiento mínimo preventivo y elementos de repuesto indispensables para mantenerse funcionando.
3. Cumplidas las diligencias antes enumeradas se procedió a efectuar, con cada una de las máquinas, las pruebas de funcionamiento en vacío, para determinar si se registraban fallas o irregularidades, efectuar las correcciones, ajustes, calibraciones y demás operaciones pertinentes, si ocurrían deficiencias, a fin de que todos los equipos se encuentren aptos para luego operar con carga.

Todos los ensayos se efectuaron con la participación del personal nacional de la planta, a cuyo cargo estaría luego la operación y control de la maquinaria.

Con anterioridad a las pruebas en vacío se celebraron reuniones con el personal de planta; también se dictaron conferencias sobre temas relacionados con el proceso de fabricación de cemento Portland, sobre preparación para la operación de: molinos, sistemas de homogeneización, horno rotativo, enfriador de clinker, filtros de grava y demás equipos y auxiliares que integran la fábrica.

Asimismo, con la debida oportunidad, se procedió a efectuar la selección de los lubricantes que deben ser usados en cada una de las máquinas de la fábrica, de acuerdo con los tipos que se producen en Bolivia (YPFB).

La realización de las pruebas en vacío permitió detectar algunas novedades y hechos, los mismos que se indican en el capítulo "Conclusiones y recomendaciones".

4. Antes de la operación de la maquinaria con carga se efectuaron pruebas de funcionamiento de los sistemas de medida y protección de acuerdo con el principio de simulación de las condiciones de trabajo, y luego se efectuaron las calibraciones y ajustes necesarios.

Una vez cumplido lo antes mencionado, se procedió a efectuar la operación de asentamiento del molino de crudo, de acuerdo con las recomendaciones del fabricante y con 40% de carga. Antes de terminar el período de asentamiento se detectó un sobrecalentamiento del cojinete de este molino, lado de descarga, por lo que se procedió a cambiar la media luna afectada por el calentamiento por otra nueva y a reajustar la pieza retirada, la que se mantiene como elemento de repuesto.

Una vez efectuado el asentamiento del molino, se procedió a triturar caliza para almacenar material "crudo" en el silo de crudo, de acuerdo con las proporciones para la mezcla de las materias primas indicadas por el laboratorio químico de la planta.

El material crudo producido por el molino, depositado en el silo de homogeneización, fue sometido a una agitación con aire comprimido como paso previo a su ingreso al silo de almacenamiento y luego al horno rotativo.

Debido a la insuficiente capacidad del compresor base para el proceso de homogeneización fue necesario incorporar al sistema un compresor portátil, de la cantera, con el cual mejoró el proceso de mezcla del crudo en el silo.

5. En forma paralela, contando con la colaboración del personal de cada una de las empresas comprometidas, se realizaron las pruebas de:

5.1 Cambio de las condiciones de operación de los grupos generadores Caterpillar, para que operen con gas natural como combustible en lugar de gas propano, pues el stock de este último se agotó en la planta, y debido a su mayor costo no se justifica el seguir usándolo. Desafortunadamente, el personal que asignó la firma representante de Caterpillar para realizar esta tarea no pudo ejecutarla, lo que causó una gran demora en el inicio de la operación con carga.

5.2 Operación del quemador Pillard del horno rotativo, elemento que fue adaptado para operar con gas natural en vez de fueloil por la firma Servi-Petrol y que, no obstante los cambios de boquillas efectuados, no pudo operar en condiciones satisfactorias, razón por la cual fue necesario planificar otras pruebas con el quemador modificado por la Industria Azucarera de Bermejo, hecho que se realizó posteriormente con resultados más satisfactorios.

5.3 Para proceder al encendido del horno rotativo se programó la realización previa del mayor número posible de análisis de las materias primas, para poder determinar las proporciones en que éstas entrarían a conformar la harina de crudo, con miras a producir clinker de buena calidad.

6. Asimismo, como requisito previo al encendido del horno se dictó conferencias sobre los siguientes temas:

6.1 Conocimiento de la función, características constructivas, aspectos que deben ser considerados en la operación del horno, revestimiento refractario, control de combustible, control de flujo de gases de combustión, instrucciones para mantenimiento y procedimientos a seguir en las etapas de calentamiento inicial y repetitivo, enfriamiento, alimentación y demás parámetros que deben ser tomados en cuenta durante la operación del horno.

6.2 Análisis de la discusión de las alternativas que, en función de los clásicos tres parámetros que se registran en la operación del horno, tiene el calcinador para mantener correctamente la marcha de un horno rotativo.

Cumplidas todas las diligencias pertinentes, el 16 de marzo, a las 05.50 horas, se inició el calentamiento; el material correspondiente al primer clinker salió del horno con demora, debido a las contingencias que se presentaron, hecho muy común en toda puesta en marcha de una nueva fábrica.

7. La operación o primera campaña del horno duró 18 días, durante los cuales, tanto en el laboratorio químico como en cada una de las etapas del proceso, se trató de solucionar los problemas que en todo proceso de puesta en marcha se presentan, los mismos que básicamente se pueden resumir como sigue:

7.1 Alcanzar la perfecta coordinación y continuidad en las diferentes etapas del proceso.

7.2 Obtener dosificación óptima de las materias primas, pues tienen características variables, según su procedencia.

7.3 Mantener la marcha del conjunto en la forma más uniforme y continua posible.

7.4 Obtener la suficiente seguridad y confianza en las reacciones de los operadores de los equipos, muchos de los cuales no habían tenido previa experiencia ni información sobre la maquinaria y el proceso de fabricación del cemento.

Como se produjeron anillos en el interior del horno y no fue posible eliminarlos por los medios usuales, se procedió a parar el horno para efectuar la rotura de los anillos, hacer una inspección del revestimiento refractario, controlar el ajuste de los engranajes de accionamiento de los anillos de rodadura del horno, cojinetes, quemador, etc., y también para efectuar una revisión, un reajuste y las reparaciones necesarias en el resto de las máquinas e instalaciones después de la campaña de arranque o puesta en marcha.

A partir del 4 de abril se procedió a efectuar la inspección de canteras para, en base a los análisis del laboratorio, conocer la conformación geológica de las vetas y calidades de la caliza y las facilidades de explotación y preparación de las mismas, con miras a determinar la mezcla futura de las materias primas, para obtener un crudo que permita producir un cemento de acuerdo con las normas que rigen para su fabricación y quemabilidad en el horno.

De inmediato se hizo una evaluación de los recursos disponibles para iniciar la operación continua, tanto en lo referente a disponibilidad de materias primas, maquinaria y equipos, servicios auxiliares, como en cuanto a la calidad y cantidad de personal disponible para la operación de la planta.

En el laboratorio se constató la falta de equipo, reactivos, instrucciones para efectuar análisis, normas y, sobre todo, la falta de personal entrenado para esta delicada labor, por lo cual se pidió de inmediato el envío de la literatura correspondiente desde el Ecuador, y se sugirió acelerar la adquisición de reactivos e instrumentos tanto en Bolivia como en los países vecinos.

También se pidió que se ampliara la cooperación que ya venía prestando la empresa COBOCE de Cochabamba mediante la presencia de un analista experimentado.

Ante la imposibilidad de conseguir todo lo que se necesitaba para una operación regular del laboratorio, se pudo llenar los vacíos existentes gracias a la experiencia adquirida a través de años de trabajo en la industria del cemento.

En la etapa de producción se hicieron pruebas a escala industrial en las distintas operaciones y procesos para ver hasta qué punto satisfacían las necesidades propias de esta operación industrial, y se corrigieron, dentro de las serias limitaciones existentes, las diferencias, entre las que enumeramos las siguientes:

1. Trituradora. Se disminuyó el tamaño de la piedra caliza de alimentación, se instalaron rieles para formar una pantalla en la entrada, se nivelaron y cambiaron rodamientos en el rotor, se efectuaron cambios en las barras batidoras y el balanceo del rotor.
2. Dosificadoras. Se efectuaron reajustes volumétricos en las dosificadoras rotativas para que se adapten a los caudales de los materiales usados en el proceso, y luego se hicieron contrastaciones periódicas.
3. Se efectuó el cálculo y chequeo de los cuerpos molturadores del molino de crudo, así como del molino de cemento, el horno rotativo y el enfriador; se revisaron los cojinetes y su nivelación; se cambiaron los lubricantes de acuerdo con las especificaciones; se efectuó el control de alineación y contacto de sistemas de accionamiento y se hicieron las correcciones necesarias; además, en el caso del molino de crudo, se efectuó el arreglo del sistema de arranque eléctrico del motor de accionamiento, el mismo que originó muchos problemas en la puesta en marcha.

En la operación del molino se registró hasta un 80% de su capacidad nominal; se regularon las compuertas de gases y la dosificación para obtener un crudo del grado de finura requerido para la alimentación del horno.

4. Debido a la falta del aire comprimido requerido para los procesos de fluidificación y homogeneización, fue necesario adaptar a este sistema un compresor de la cantera, el mismo que está operando en forma transitoria, pues no representa una solución definitiva al problema.

El equipo instalado es insuficiente para garantizar la fluidez del crudo y la dosificación exacta tan necesaria en la alimentación del horno, por lo cual fue necesario hacer varias adaptaciones, desvíos y modificaciones en este circuito; se debe dejar constancia de que, para un trabajo regular y continuo, tanto del molino de crudo como de esta sección, es necesario instalar un segundo grupo de homogeneización y almacenamiento (silos).

5. Con el propósito de obtener una operación regular del horno, al incrementar la capacidad de producción se efectuaron las pruebas del caso con los dos quemadores para gas que fueron construidos en Tarija, habiéndose finalmente instalado el quemador hecho en Bermejo, con la boquilla modificada en la planta; se instaló el sistema medidor de flujo de gas natural para el quemador y, ante la falta notoria de elementos de control de la combustión, se contó con la experiencia de calcinadores provenientes de COBOCE y del Ecuador.

Debido a la cantidad de líquido en la etapa de clinkerización y al alto contenido de MgO en el clinker, fue necesario rediseñar la composición del crudo, para evitar la formación de anillos y bolas que dificultan la marcha normal del horno.

6. Debido a la formación de bolas en la etapa inicial de operación, el revestimiento refractario en la entrada del enfriador sufrió impactos que originaron desgaste anormal y desprendimientos pequeños del mismo, daño que fue oportunamente reparado.
7. A causa de los repetidos atrancamientos que se produjeron en la pequeña trituradora de clinker tipo de mandíbula, fue necesario modificar el curso de la descarga del clinker enfriado; se considera que es necesario dar una solución más permanente a este problema.
8. Para lograr un funcionamiento regular del molino de cemento, a fin de obtener un producto adecuado para producir cemento con buena resistencia, se reclasificó la carga de bolas y se instaló un sistema rociador de agua para enfriar el molino.
9. Una vez realizados los trabajos de chequeo y contrastación del sistema de ensacado, se procedió a efectuar esta operación en base a los programas de entrega solicitados por el departamento de comercialización, debido a que el área de ensacado y entrega está al descubierto y no hay suficiente capacidad de almacenamiento bajo techo; se espera que estas deficiencias sean eliminadas en el futuro.

10. Para concluir, una vez que se efectuó el control de calidad del producto terminado y que fue confirmada su aceptación por parte de los usuarios, la fábrica quedó funcionando en forma satisfactoria con una capacidad de producción equivalente al 60% de la capacidad nominal de la misma.

Finalmente, queremos dejar constancia de nuestro agradecimiento por la colaboración que siempre fue dispensada por los ejecutivos de CODETAR, del señor Gerente General de FACEP, del personal administrativo y de línea de la fábrica y de todos quienes colaboraron en la delicada gestión de puesta en marcha de la nueva fábrica de cemento "El Puente".

Dispuestos a efectuar cualquier aclaración y/o ampliación, a solicitud de la ONUDI, con respecto al contenido de este informe, quedamos de ustedes como sus atentos y seguros servidores.

Atentamente,

Ing. Alfonso Garrido Flor

Ing. Aníbal Enríquez

Anexos

Anexo 1

CONCLUSIONES

Los antecedentes que han sido tomados en cuenta para llegar a las conclusiones que se anotan más adelante, sin pretender que constituyan la totalidad de los que han intervenido en la ejecución del proyecto fábrica de cemento "El Puente" son los siguientes:

1. Naturaleza del criterio que sirvió de base o fundamento a los fabricantes de la maquinaria -GATX/FULLER- para realizar el diseño de ingeniería de la fábrica de cemento.
2. Modificaciones que fueron introducidas en el diseño y en el volumen de suministro de equipos y servicios originalmente contratados por CODETAR.
3. Condiciones en que se desarrollaron las etapas de construcción de obras civiles e instalación de máquinas y servicios que conforman la fábrica.
4. Condiciones de almacenamiento y permanencia en el sitio de los equipos durante el período anterior a la entrada en línea del conjunto fabril.
5. Características de las materias primas que se están usando y las que van a ser consumidas para la elaboración futura del cemento tipo Portland.
6. Disponibilidad de insumos, facilidades de trabajo y, en particular, de personal apto para hacerse cargo de la operación de la nueva fábrica.
7. Resultados obtenidos durante las primeras seis semanas de operación continua de la fábrica, posteriores al período de prueba y puesta en marcha.

En base a lo anteriormente anotado, las conclusiones que hemos podido establecer, sin orden de importancia son:

- El diseño, suministro y características del proceso de fabricación escogido corresponden a un "Prototipo" de fábrica compacta y con mínima instrumentación, compuesta de equipos de diseño convencional, cuya capacidad, en términos generales, está dentro de un rango o límites muy críticos en relación con la capacidad necesaria para poder obtener la producción nominal de la planta, esto es, de 192 TM de clinker en un día de operación.
- Debido al tamaño y consistencia de los bloques de piedra caliza que provienen de la cantera, la trituradora existente, tipo impacto, resulta inadecuada para efectuar el proceso de trituración de la caliza, hasta el tamaño exigido para su ingreso en el molino de crudo, razón por la cual, conviene mejorar esta etapa del proceso.
- El sistema de dosificación de las materias primas es de tipo muy elemental (volumétrico-rotativo) y en los casos del yeso y del mineral de hierro, no permite efectuar un control continuo y eficiente del flujo de estos insumos; resulta pues necesario mejorar radicalmente la etapa de alimentación a los correspondientes molinos.

- Las bombas de lubricación de los cojinetes de los molinos cuentan con filtros para aceite, de tipo muy particular y difíciles de adquirir en la zona, por lo cual es imperativo buscar una solución alternativa a este problema.
- Ha sido posible establecer que la capacidad de homogeneización y almacenamiento de crudo son insuficientes para mantener en forma regular una producción diaria de hasta 200 TM de cemento, por lo que resulta necesario buscar una solución a este problema ampliando la capacidad de estos equipos.
- El sistema de extracción, dosificación y alimentación de crudo al horno rotativo es muy elemental y carente de confiabilidad, circunstancia que incide directamente en la marcha normal del horno.
- No se dispone de un equipo analizador de gases a la salida del horno, circunstancia que hace imposible efectuar el control de la combustión, tal como debe mantenerse en un horno rotativo que produce clinker.
- La calidad y diseño del revestimiento refractario, cerámico o metálico, en el enfriador de clinker, no garantiza períodos largos de campaña con este equipo, circunstancia que hace necesario que la administración de la fábrica establezca contacto con representantes de firmas fabricantes de este tipo de insumos para que, luego de un estudio de las condiciones de trabajo existentes en la planta, puedan recomendar los materiales más idóneos para el caso particular de la fábrica de cemento "El Puente".
- El diseño, tamaño y operación de la trituradora de clinker existente en la descarga del enfriador adolece de deficiencias que se traducen en frecuentes paradas de la misma.
- La operación de transporte de clinker hasta el molino o un lugar de almacenamiento intermedio debe mejorarse, de manera que permita mantener un flujo más racional y continuo de este material.
- Los sistemas transportadores tipo de tornillo y de canchales, tanto para crudo como para cemento, acusan una capacidad crítica y debilidad en su construcción, hechos que hacen necesario buscar soluciones alternativas en el futuro.
- No existe ninguna constancia sobre la existencia de garantías de eficiencia en la operación de los equipos que deben actuar para evitar la contaminación ambiental y, consecuentemente, evitar el desperdicio de material en proceso de fabricación.
- El filtro de grava para los gases del horno y del molino de crudo es completamente ineficiente, razón por la cual es de prioridad inmediata proceder al cambio del mismo.
- El proceso de ensacado es deficiente e irregular, se observa mucho desperdicio de cemento en el área de almacenamiento y despacho de cemento en sacos (fundas de papel), que es reducida, está descubierta y es muy elemental, por lo cual es necesario optimizar esta etapa del proceso.

- En el área de "Protecciones" de los equipos a fin de mantener una operación segura de los componentes críticos en las zonas más importantes de la fábrica, aun en el caso de ausencia del respectivo operador, igualmente existen muchas limitaciones, circunstancias que obligan a la empresa, a que, dentro de corto plazo, proceda a la adquisición e instalación de los dispositivos de protección que se recomiendan sean puestos en servicio en el capítulo "Recomendaciones".
- Debido a los escasos instrumentos y elementos de control con que cuenta el horno rotativo, no se dispone de todos los parámetros, normalmente requeridos para una operación regular y eficiente del horno rotativo, lo que obliga a la empresa, para atenuar este problema, a operar con calcinadores (horneros) de gran experiencia, capacidad y conocimientos teóricos, para hacer frente a las dificultades que normalmente se presentan en el piroproceso, en particular, cuando se producen irregularidades en la calidad y dosificación de las materias primas que intervienen en el mismo.
- La continuidad del flujo del material en proceso de fabricación en la planta, por falta de equipos de transporte autónomos, no está garantizada en forma satisfactoria, pues depende de cargadoras móviles que han sido usadas ya en la cantera, en la ejecución de obras civiles y en el montaje de la maquinaria y que, consecuentemente, tienen muchas limitaciones en su operación.
- Al presente, no se puede mantener un eficiente y continuo control del consumo de combustibles, energía eléctrica y otros insumos, por medio de un eficiente manejo de todos los equipos, por lo que es necesario que, a corto plazo, se complete la instalación de controles e instrumentos de medición y manejo de la planta para mantenerla operando eficientemente.
- Es conveniente que quede establecido el hecho de que los proveedores de la maquinaria -GATX/FULLER- no efectuaron el suministro de una cantidad suficiente de elementos de repuesto y consumo normal en una fábrica de cemento, para garantizar un período de operación del orden de dos años; esta limitación se ha hecho notoria debido al largo período de almacenamiento sin operar, que ha soportado la maquinaria antes de su puesta en marcha, circunstancias que, en algunos casos, obligaron a hacer cambios, adaptaciones y acomodos en varios equipos y sus sistemas de mando y control, para hacer posible su funcionamiento.
- El laboratorio, no obstante ser el centro de control de la planta de cemento, está desprovisto de equipos, instrumentos y facilidades para poder cumplir a cabalidad su importante cometido.
- Al iniciar su producción, la fábrica, en casi todas las áreas, solamente pudo disponer, para la operación de la misma, de personal sin experiencia en la fabricación de cemento, personal que recibió un limitado entrenamiento, en razón de las condiciones en que se encontraba la empresa, en la etapa de puesta en marcha.

Anexo 2

RECOMENDACIONES

En base a las conclusiones a que se pudo llegar y a la experiencia adquirida en un largo período de trabajo en la industria del cemento, se considera oportuno y necesario plantear a consideración de la empresa, las siguientes recomendaciones:

- Mantener en la cantera (polvorín y almacén) los explosivos y material para la explotación de materias primas, explosivos, detonantes tipo 0 a 6 y demás elementos, la cantidad suficiente para una campaña de seis (6) meses.
- Efectuar un mantenimiento completo del tractor CAT-07 de propiedad de la empresa, para asegurar el buen funcionamiento del mismo, pues ya ha trabajado durante los últimos siete (7) años. Mientras dure esta reparación se debe tomar en arrendamiento otro equipo equivalente.
- Proceder a la rehabilitación completa de la cargadora frontal CAT-920 que está fuera de uso, pues al presente sólo están operando dos unidades similares, una en canteras y la otra en fábrica, hecho que representa un factor muy crítico en la operación de la misma.
- Dar curso a la adquisición e instalación de una segunda trituradora de caliza, para que trabaje como trituradora primaria, tipo de mandíbula, con capacidad de 60 a 70 TM por hora, con relación de reducción de 4:1 a 5:1.
- Su ubicación debe establecerse en función de la línea de alimentación de energía eléctrica, y debe ser independiente de la actual para mantener la autonomía de operación de cada una de ellas.
- La trituradora de impacto, que actualmente opera en la planta, con una relación de reducción de 20:1, pasaría a operar como trituradora secundaria, con una relación de reducción de 5:1.
- También debe instalarse un sistema de rociado por atomización de agua en la trituradora de impacto, para evitar fuga de polvo de caliza hacia el medio ambiente.
- Para mejorar el proceso de alimentación del yeso y del hierro, que resulta ineficiente debido a que estos elementos se añaden en pequeñas cantidades, puede hacerse una premezcla, lo más homogénea posible en el caso del yeso, ya sea con caliza o puzolana o algún otro aditivo, y en el caso del hierro, con una cantidad fija de arcilla. Una optimización de este sistema puede ser considerada para el futuro.
- Para mejorar el proceso de homogeneización y almacenamiento de crudo es necesario instalar un sistema igual al existente, en el que se incluyan los medios de transporte y extracción ya mejorados, esto es, con bombas Fuller y sus auxiliares.

- Para mejorar de inmediato la situación existente se debe adquirir, a la brevedad posible, un compresor de aire fijo, con capacidad suficiente para realizar con aire comprimido las operaciones de fluidificación y homogeneización y poder liberar de esta tarea al compresor de la cantera, tipo móvil, que actualmente se encuentra operando en forma provisional.
- Siendo la etapa de extracción del crudo del silo, y luego su descarga (alimentación) al horno, un paso vital, es necesario rediseñar esta etapa del proceso, e instalar una dosificadora automática con sus elementos auxiliares.
- Para el control de los gases de combustión se debe pedir cotizaciones de equipos completos capaces de efectuar el análisis continuo de los mismos, a instrumentos complementarios, y una vez adquiridos proceder a su pronta instalación.
- Igualmente, es necesario adquirir un pirómetro óptico para control de las superficies sujetas a calentamiento.
- Para garantizar la seguridad del horno, cuando se produzcan fallas en los sistemas de alimentación y/o accionamiento eléctrico para el giro del mismo, se recomienda que se instale también, para accionamiento de emergencia del horno, un motor tipo diésel, con potencia de 20 HP junto con los elementos auxiliares para el correcto acoplamiento del mismo.
- Es conveniente realizar un estudio completo de las condiciones de trabajo del enfriador de clinker, tomando en cuenta la situación a la que está sometido, debido a los severos golpes que experimenta en la zona de admisión del clinker, a causa de la formación de bolas y avalanchas que se originan por la calidad de crudo que se procesa.
- En la zona de descarga del enfriador, se hace necesario efectuar un rediseño del paso del clinker y determinar la capacidad y tipo más adecuado que debe tener la trituradora del mismo.
- En la etapa de transporte de clinker hacia el molino, se debe proceder a realizar un estudio comparativo para luego implantar un adecuado sistema autónomo de transporte que garantice el flujo regular de clinker.
- Es necesario instalar termocuplas sensoras para controlar la temperatura de los cojinetes de los molinos, de los rodillos del horno y del enfriador, que, además, tengan dispositivos de alarma en los controles de los molinos, horno rotativo y enfriador, así como dispositivos de parada (detención) en caso de sobrecalentamiento de los cojinetes de los molinos.
- Conviene adquirir sin demora tarjetas electrónicas para todos los instrumentos de control en los tableros, por medio del representante de la firma ALSTHOM en La Paz, junto con otros elementos de repuestos, producidos por el mismo fabricante, ya que, en definitiva, es la manera más directa de efectuar la compra desde la única fuente de aprovisionamiento.

- Para optimizar la etapa de ensacado y despacho de cemento, es necesario realizar un estudio para la instalación de un equipo más eficiente, tomando en cuenta la posible situación futura que pueda presentarse en la comercialización del cemento.
- A fin de eliminar al máximo el crítico problema que constituye la contaminación ambiental, con la consecuente pérdida de material en proceso de fabricación, es necesario que se dé atención inmediata al trámite de cambio del filtro existente tipo de grava, con un tipo de mangas de fibra de vidrio, equipo que es de menor costo, de más fácil manejo, de gran eficiencia, y que exige menos gastos de mantenimiento.
- Con el propósito de reducir al mínimo cualquier interrupción en el funcionamiento del equipo debido a daños que exigen inmediata atención, es necesario que la empresa adquiera conjuntos de herramientas de uso frecuente a fin de que cada mecánico y electricista de turno disponga de ellas en el momento en que las necesite.
- Es igualmente necesario que, a la brevedad posible, se habilite una planta de tratamiento de agua para uso industrial y potable.
- Resulta absolutamente necesario efectuar un estudio completo de las necesidades de mejorar la instrumentación para poder controlar eficientemente el consumo y producción de cada equipo, a fin de disponer así de bases para una futura auditoría energética e introducir las correspondientes mejoras, modificaciones, correcciones, ampliaciones, etc.
- Para obviar la grave limitación que la falta de suficientes repuestos representa, es necesario proceder a una revisión inmediata de inventarios y luego a la elaboración de una lista de todos los elementos de repuesto e insumos requeridos, fijando las correspondientes prioridades para que, de acuerdo con las posibilidades de la empresa, se adquieran los elementos faltantes que permitan garantizar la operación continua y regular de la fábrica durante los próximos dos años.
- La optimización del laboratorio está en función de las disponibilidades de la empresa, de la prioridad que se fije en cada caso y del grado de complejidad que se aspire a dar a esta muy importante área de la fábrica.
- Para que la fábrica de cemento "El Puerce" pueda contar en el futuro con el suficiente elemento humano idóneo para la eficiente operación de los equipos, se considera necesario impartir en el sitio, cursos de capacitación profesional al personal y, además, seleccionar a quienes puedan recibir entrenamiento en otras fábricas de cemento que ofrezcan facilidades para esta actividad, sea en el país (Bolivia) o en el exterior.

Anexo 3

ESTIMACION DE COSTOS DE EQUIPOS Y AUXILIARES PARA OPTIMIZACION
DE LA FABRICA DE CEMENTO EL PUENTE

	<u>Dólares EE.UU.</u>
Trituradora de mandíbulas 70 TMH	70 000
Compresor para Blending (Homogeneización)	70 000
Bomba Fuller 20 TMH, para alimentación de crudo al horno (se incluye equipo de extracción de crudo del silo)	40 000
Compresor para Bomba Fuller anterior	30 000
Báscula para pesar el crudo destinado al horno	38 000
Torres de acondicionamiento de gases del horno (torre de enfriamiento), incluida la bomba de agua	100 000
Colector de polvo de bolsas de fibra de vidrio	250 000
Transportador de banda para clinker (longitud 80 m)	100 000
Bomba Fuller 15 TMH para transporte de cemento	38 000
Compresor para la Bomba Fuller anterior	30 000
Construcción de silo para homogeneización y silo para almacenamiento (en acero)	50 000
Instrumentación	60 000