
A N A L E S
DEL
INSTITUTO DE INGENIEROS DE CHILE

Sociedad Fábrica de Cemento de "El Melon"

POR

CÁRLOS BARROILHET

Reminiscencias históricas

Desde los romanos, cuyas construcciones admiramos por su estabilidad i audacia de ejecucion, hasta principios del siglo XIV, los constructores solo habian empleado como mortero para adherir los materiales entre sí, mezclas de cal, puzolana o trass. La cal hidráulica era desconocida o por lo ménos no se sabia apreciar sus cualidades.

Las primeras observaciones relativas al empleo de la cal (en la confeccion de morteros hidráulicos) las hizo Smeaton, durante la construccion del antiguo i famoso faro de Eddystone (en 1756) empleando un mortero compuesto de 30 partes de cal i 70 de puzolana. Este mortero resistió por mas de un siglo el furioso embate de las olas, habiendo sido la mano del hombre, la que destruyó tan notable trabajo.

Cuarenta i siete años despues, Callet-Descotils (en 1813) hizo ver por primera vez, cuál era el papel que desempeñaba la *silice* en la *cal*. Pero todos están contestes en atribuir a Vicat los primeros conocimientos exactos, sobre la composicion i empleo de los materiales hidráulicos. Estos estudios llevados a cabo con gran método i precision, son los fundamentos sobre los cuales descansa la industria del cemento. Vicat fué el primero en preparar i emplear una mezcla artificial de *cal i arcilla*, para obtener un producto hidráulico definido.

El 21 de Octubre de 1824, José Aspdin, obtuvo un privilejio esclusivo para fabricar *cemento Portland*. Sólo a título de curiosidad voi a trascribir la esplicacion dada por el inventor, de cómo fabricaba ese producto. El invento privilegiado se titulaba: *Una mejora en la manera de fabricar piedra artificial*.

«Mí método para fabricar un cemento o piedra artificial, para estucar edificios,

obras hidráulicas, estanques o para cualquiera otra obra en que se pueda aplicar (i el cual llamo Cemento Portland) es el siguiente:

«Tomo una cantidad dada de piedra de cal en la forma que se usa para hacer o reparar la calzada de un camino, reduciéndola a pasta o polvo; pero si no puedo obtener suficiente cantidad de los caminos, tomo la piedra de cal, la reduzco a pasta i a polvo o la dejo tal cual, para en seguida calcinarla. Tomo en seguida cierta cantidad de tierra arcillosa o greda, mezclándola con cierta cantidad de agua hasta que quede en un estado casi impalpable, ya sea a mano o mecánicamente. En seguida coloco la anterior mezcla sobre planchas de fierro inclinadas, para que se evapore el agua, sea al sol o por medio de tubos de vapor colocados debajo de las planchas, hasta la completa disecacion de la mezcla. Entónces rompo la mezcla en trozos de dimensiones apropiadas i los calcino en un horno semejante a los hornos de cal, hasta que el ácido carbónico sea completamente espelido. La mezcla así calcinada, hai que molerla, reduciéndola a polvo fino i queda entónces en estado de servir para hacer cemento o piedra artificial. Este polvo debe mezclarse con una suficiente cantidad de agua, para darle la consistencia de mortero i emplearla en la forma que se desee».

Aspdin llamó a su producto «Cemento Portland», por un parecido en color, a la piedra de construccion que se estrae de la Isla de Portland.

Hai ciertamente mucha vaguedad en la explicacion dada por Aspdin, sobre la manera de fabricar Cemento Portland, así por ejemplo, nada dice sobre la temperatura del horno i es sabido que esta debe ser tal, que determine un principio de vitrificacion de la mezcla. Pero no obstante, el procedimiento indicado por él, se reconoce siguiendo las diversas faces del procedimiento empleado hoi dia en algunas fábricas modernas.

En 1845, el señor J. C. Johnson, jerente en aquella época de la Fábrica de White, decia:

«Mis empleados atraídos por la fama del nuevo Cemento Portland deseaban iniciar su fabricacion. Se dieron algunos pasos para entrar en compañía con Aspdin, pero sin ningun resultado, principalmente por haberles dicho que dejaran el negocio en mis manos, en la seguridad de que yo podria obtener un buen resultado. Como he dicho ántes, no tenia yo ninguna fuente de informacion de donde sacar ayuda pues no obstante de tener Aspdin un establecimiento, no habia medio de averiguar lo que hacian por estar cercado con murallas de 20 piés de alto, i sin otras entradas que por las oficinas.

«Si hubiera podido tomar informaciones en ese sentido, confieso que habria usado de esa ventaja, pero como habia oido de boca de uno de sus últimos socios, que el procedimiento empleado era tan mistificado que cualquiera habria caido en un falso camino, pues los mismos obreros nada sabian i creian que la virtud del cemento dependia esclusivamente de algo que Aspdin ejecutaba con sus propias manos.

algunos conocimientos en química, desconfiando de un análisis hecho por mí, me dirigí al mejor químico de Londres, con quien pasé trabajando como dos días. ¿Cuál creen ustedes que era el elemento principal que se encontró? sesenta por ciento de *fosfato de cal*. Está bien me dije, ahora tengo el negocio. Puse a contribución a todos los carniceros del vecindario para que me proveyeran con huesos, calcinándolos al aire libre, apestando el aire con el mal olor. Hice infinitas mezclas con greda i otros ingredientes que daba el análisis i los calciné sin ningun resultado favorable.

«Ahora era la cuestion, ¿qué otra tentativa debia llevar a cabo? Tuve la idea que los elementos eran los que contenia el cemento romano i habia leído en alguna parte que los antiguos químicos enseñaban que la bondad del cemento romano dependia del fierro i de la magnesia que contenian. Sabia que estos elementos daban el color peculiar al cemento romano, pero que no existian en el Portland.

«Tenia yo un laboratorio en las oficinas, i me dediqué dia i noche a buscar cuáles eran los componentes de las piedras de Harwich i Sheppey. Habiéndolo encontrado, i despues de varios meses pasados en esperiencias, principié a creer que la cal i la alúmina constituirian los ingredientes necesarios. Sin embargo, tambien ensayé mezclas de cal i greda en polvo calcinadas, con lo cual obtuve algo parecido al cemento. Despues ensayé mezclar tiza i greda con mal resultado por demasiada temperatura.

«Por pura casualidad, sin embargo, parte de estas mezclas se vitrificaron. Moli algunas escorias i no fraguaron; mezclé el polvo con el mismo material pero apenas calcinado i fraguó. Examinando algunos dias despues la primera escoria, noté que el polvo habia endurecido mas que la mezcla. Creyendo haber dado con la solucion buscada, procedí en gran escala, mezclando 5 partes de tiza blanca i una de greda. Se calcinó bien i se molió fino, pero no dió resultado a causa del exceso de cal. El todo lo arrojé como inútil dentro de una especie de túnel. Algunos meses despues, tuve la curiosidad de tomar una muestra i con gran sorpresa mia, fraguó perfectamente, no produciéndose trizaduras i aumentando de dureza con el tiempo». En aquellos años el precio del cemento no estaba al alcance de todo el mundo.

«Los señores J. M. Mande hijo i C.^a decian en una circular: «Se fabrica el cemento Portland de dos calidades i se vende en barriles de 4 quintales; el N.^o 1, cuesta £ 1 por barril i el N.^o 2, £ 2-16s-3d. Se abona 4s-6d por cada barril devuelto en perfecto estado».

Cuan léjos estamos de los precios actuales.

Allá por los años 1845 o 1846 el famoso Ministro ingles Sir R. Peel, preocupado del desarrollo que tomaba la industria del cemento, temió que se pudieran agotar los yacimientos de materia prima i hacerle falta al Gobierno para sus obras; con este motivo, anunció al Parlamento su intencion de ponerle un derecho de estraccion a la piedra para cemento.

Clasificación de los cementos

En una manera jeneral, los cementos pueden clasificarse en dos grandes categorías: *Cementos naturales* i *Cementos artificiales*. Como lo indica su nombre, son cementos naturales aquellos que provienen de la calcinacion i molienda de productos calcáreos, tal cual se encuentran en la naturaleza. Estos a su vez se subdividen, según el tiempo de fragua, en *rápidos*, *semi-lentos* i *lentos*.

Los *cementos rápidos* fueron los primeros cementos conocidos, como los de Parker en Inglaterra i de Ponilly en Francia, i su empleo data de fines del siglo XVII.

Los cementos *semi-lentos* i *lentos* provienen de las mismas rocas calcáreas i se diferencian de los anteriores en cuanto a su fabricacion, en haber sido calcinados a una temperatura mayor.

Todos los cementos naturales se caracterizan por su poca densidad i un color amarillento. Estos cementos tienen en el comercio un valor inferior a los cementos artificiales, pero en cambio por su composicion química i las resistencias que desarrollan, no pueden dar las mismas garantías que los cementos artificiales o Portland.

Su empleo es peligroso en obras delicadas cuya estabilidad depende principalmente de la invariabilidad de la forma de la obra que se ejecuta i de las resistencias desarrolladas, como ocurre en las construcciones de cementos armados.

No hace mucho tiempo, el Gobierno ingles pidió propuestas para la provision de cemento destinado a los trabajos hidráulicos de uno de sus puertos en el Canal de la Mancha. Sometidas las diversas muestras a los ensayos de laboratorio indicados en las especificaciones del Gobierno, se elijió un cemento del continente que a los 7 dias dió una resistencia sobresaliente; a los 28 dias la resistencia fué superior a la de todo cemento conocido, a los 3 meses la resistencia permaneció estacionaria i a los *dos años*, se derrumbó la obra, irrogando enormes perjuicios. Uno de los proponentes, que a su vez es uno de los mas grandes fabricantes de cemento ingles i de quien tengo estos datos, me dice que durante mucho tiempo se dedicó al estudio del cemento en cuestion, tomado de la obra misma, i que llegó a la conclusión, que el producto era un *cemento natural*, en el cual no toda la cal estaba combinada a la sílice, i que por lo tanto tenia *cal libre*.

El Gobierno aleman, preocupado de esta cuestion, i en defensa de sus propios intereses, exige hoi dia, que todo cemento natural, indique esta cualidad en su etiqueta. I seria de desear, que la Direccion de Obras Públicas de nuestro pais tome las mismas precauciones, sobre todo ahora que las obras hidráulicas estan tomando tanto incremento.

Hoi dia se encuentran en el mercado cementos que en las etiquetas del envase no indican ni el nombre de la fábrica ni el pais de donde provienen. Estos productos constituyen un verdadero fraude.

Cementos artificiales o Portland

Son varios los cementos de fabricacion artificial. Portland, de escoria, de lava etc., etc., pero nos ocuparemos únicamente del primero, que es el que fabrica nuestro Establecimiento en la Calera.

Cemento Portland.—

En el Congreso de Buda-Pest, se adoptó la siguiente definicion oficial para el cemento Portland, acordándose que solo pueden denominarse así, aquellos productos que se cifien estrictamente a la siguiente definicion oficial:

«El Cemento Portland es un producto definido, obtenido por la calcinacion de una mezcla íntima de materias calcáreas y arcillosas o de silicatos. La mezcla debe calcinarse hasta principiar la fusion. No debe venderse como Cemento Portland el fabricado de otra manera ni la mezcla de cemento con otras materias». El cemento Portland es por lo tanto un verdadero producto químico, preparado por medio de fórmulas bien determinadas. Los elementos esenciales que lo constituyen son: *Cal*, *Sílice* i *Alúmina*. Independientemente contiene óxido de fierro, magnesia, sulfato de cal i a veces potasa, soda etc., etc.

Composicion química.—

Le Chatelier, habia indicado teóricamente, que la composicion de un cemento Portland, debia encontrarse entre los siguientes límites:

$$\frac{C_a O + M_g O}{S_i O_2 + A_l_2 O_3} \leq 3$$

$$\frac{C_a O + M_g O}{S_i O_2 - A_l_2 O_3 - F_e O_3} \geq 3$$

Nowberry consiguió fabricar un cemento artificial, que de antemano debia responder a las fórmulas ideadas por Le Chatelier, i obtuvo un producto en el cual la *cal*, la *arcilla* i la *alúmina* guardaban la siguiente relacion:

$$X(3 C_a O, S_i O_2) + Y(2 C_a O - A_l_2 O_3)$$

es decir que el cemento así obtenido es una mezcla de *silicato tricálcico* i *aluminato bicálcico*.

Sustituyendo los pesos a los equivalentes se puede traducir esta fórmula en esta otra: Cal Sílice $\times 2,8$ \times alúmina $\times 1,1$.

La materia prima con la cual se obtiene el cemento de «El Melon», se extrae de los yacimientos calizos existentes en los cerros que separan las Haciendas de El Melon i de Los Nogales.

La composición química de esa materia prima es la siguiente:

	Piedra de cal	Arcilla
S ₁ O ₂	12,5	57,1
R ₂ O ₃	4,1	30,—
C _a O	46,2	3,6
M _g O	0,1
Pérdida por calcinacion.....	35,4	10,—
Diferencia	1,7
	100,—	100,7

Estos materiales se mezclan en la proporción de 13 de piedra de cal por 1 de arcilla.

La fabricación de Cemento Portland, se divide en tres períodos distintos:

- 1.º La preparación de la materia prima.
- 2.º La calcinación i producción del klinker.
- 3.º La molienda de este producto, hasta dejarlo en la forma usual.

Antes de estudiar cada una de estas operaciones en particular, es conveniente darse cuenta rápidamente de la ubicación i distribución de las diversas secciones del Establecimiento.

Como lo indica el plano, el sitio ocupado por la Fábrica, está ubicado en el pueblo de La Calera, deslindando uno de sus costados con la Estación de los Ferrocarriles del Estado.

La superficie es de 72 231 metros cuadrados.

La distribución de los edificios es la siguiente:

- A) Oficinas.
- B) Habitaciones del Jefe.
- C) Habitaciones del Administrador.
- D) Laboratorio.
- E) Habitaciones del Químico.
- F) Habitaciones del personal.
- G) Desvíos de los FF. CC. del Estado, trocha ancha.
- H)

- I) *Maestranza.*
- J) *Fuego central.*
- K) *Molino de crudo.*
- L) *Fuerza motriz.*
- M) *Hornos.*
- N) *Molino de cemento.*
- O) *Galpones para la materia prima.*
- P) *Galpones para el Klinker.*
- Q) *Silos.*

Preparacion de la materia prima.—

La materia prima, es decir, la piedra de cal i la arcilla, es trasportada al Establecimiento desde las canteras, en carros lastreros por la línea del Longitudinal.

Hoy dia se trasportan 200 toneladas diarias, debiendo esta cantidad aumentarse a fines del presente año.

La piedra de cal, se va clasificando segun el porcentaje de cal. A este efecto, un empleado, que está constantemente analizando los mantos de cal, analiza el contenido de cada carro antes de salir de las canteras. En el depósito P. se mantiene siempre una cierta cantidad para usarla cuando llueva, pues si la piedra contiene mas de 1% de agua, los molinos se empastan.

La greda se trae en la misma forma. Por medio de un plano inclinado (3) se la hace llegar al secador (4) atravesado por los productos de la combustion de los hornos de calcinacion, en seguida por medio de un elevador de capachos i de un trasportador helisoidal, es depositada en el galpon O.

Por medio de carros de tumba con capacidad de 800 Kg mas o menos se alimentan las chancadoras (1) i (2) con piedra de cal uno de ellos i con greda el otro. Estos chancadores del tipo Blake, tienen capacidad para 250 toneladas por 24 horas i consumen 10 HP.

Dos elevadores de capachos elevan la materia prima casi triturada, a dos pequeños depósitos, uno para la cal i el otro para la greda. De estos depósitos, la materia prima cae a los molinos de bola (5) del tipo Kominor. Estos son tres, uno destinado a moler la greda i los otros dos la piedra de cal.

El molino Kominor, está basado en el mismo principio que todos los molinos de bola, pero con algunas variantes importantes. Como lo indica el dibujo, se compone de un cilindro de fierro A sin ningun agujero en su periferia, atravesado por un eje B al rededor del cual jira todo el aparato. Interiormente este cilindro A, está guarnecido por una serie de placas de acero duro C atornilladas a él. Al exterior de este cilindro, hai un tronco de cono E formada por harneros. El todo jira dentro de una caja G donde se recoje el producto molido.

Dentro del cilindro A, hai dos toneladas de bolas de acero endurecido.

La materia prima se introduce por H, cayendo dentro del cilindro A al jirar éste; las placas C hacen caer las balas de una placa a otra, dando lugar a un trabajo de percusión, que unido al rozamiento de las balas entre sí, aumenta la capacidad de la molienda del aparato. El producto molido sale del cilindro A por los orificios I para caer al tronco de cono de los harneros. Lo fino es recogido en la cámara G; por un extractor helicoidal, el residuo es tomado automáticamente de los arneros i vuelto a introducir al cilindro A, conjuntamente con una nueva cantidad de materia prima, recién triturada. Como se ve, toda la materia debe recorrer todo el aparato, de aquí su gran capacidad de molienda comparada con otros sistemas semejantes. Esta capacidad es en los aparatos que tenemos en nuestro establecimiento de 70 toneladas por 24 horas, con un consumo de 35 HP. La materia prima así molido es transportada por medio de elevadores a los silos (6) construidos en cemento armado. Uno contiene la greda i la cal el otro.

Sobre estos silos, hai dos balanzas automáticas destinadas a pesar una la cal i la otra la greda, en la proporción en que deben mezclarse para fabricar el cemento. A este efecto, estas balanzas están unidas entre sí por medio de una unión isócrona reglable a voluntad. Los extractores i elevadores que alimentan estas balanzas, están arreglados de tal modo, que trabajan con doble capacidad que la requerida por las balanzas, de suerte que el sobrante vuelve a su respectivo silo, con lo cual se obtiene que la materia prima se esté mezclando constantemente, aumentando así su homogeneidad. La piedra de cal, o para abreviar, la cal así mezclada con la arcilla en la proporción requerida, van a alimentar los molinos tubulares (8) del sistema Dana.

Estos molinos se componen de un gran cilindro de fierro A, soldado eléctricamente según una generatriz i cerrados por sus dos estremidades. Interiormente están forrados con trozos de pedernal en forma de adoquines i contienen al interior 8 toneladas de rodado de pedernal. La materia prima se introduce por el eje hueco B i sale por los orificios C a la estremidad opuesta. La molienda se produce por el rozamiento de los rodados al jirar el molino. Su capacidad de molienda es de 160 toneladas por 24 horas, con un consumo de fuerza de 65 HP. Como se ve, en estos molinos no hai harnero, la fineza de la molienda se gradúa con la alimentación del molino i las toneladas de rodados que se coloque en el interior.

Actualmente se muele hasta obtener un residuo de 15% en la tela de 4 900 mallas.

El cemento crudo así preparado, por medio de elevadores i transportadores, se distribuye en los silos (9) construidos en cemento armado i con capacidad para 500 toneladas.

Con esta serie de operaciones, hemos dado término al primer período de la elaboración del Cemento.

Calcinación —

Una serie de extractores, colocados al frente de los silos sirven para extraer e

voluntad, su contenido, para ser elevado en seguida a un aparato regulador i alimentador del horno, donde debe calcinarse el cemento crudo.

Estos hornos llamados rotativos, tuvieron su origen en Inglaterra, no obstante ser este uno de los países donde los hai en menor número. Su invencion se debe a Ransome, quien instaló uno de 8 metros de largo en 1885, pero no tuvo éxito.

El horno rotativo (nuestro establecimiento posee por ahora dos) se compone de un gran tubo de acero de 27 m de largo i 2,10 m de diámetro, suficientemente rijido para poder jirar alrededor de su eje, sobre rodillos convenientemente colocados, bajo tres anillos concéntricos al horno. El movimiento de rotacion es dado por una rueda de engranaje, unida al horno, por medio de planchas tanjenciales a fin de evitar los efectos de la dilatacion del horno.

El horno está colocado con cierta pendiente para que la materia a calcinar lo recorra de un extremo a otro por el sólo efecto de la rotacion i de la gravedad. La estremidad mas alta del horno entra en una cámara de albañileria de ladrillos, forrada interiormente con ladrillo refractario. Sobre esta cámara se levanta una chimenea de fierro, forrada interiormente con el mismo ladrillo refractario i por la cual se escapan los productos de la combustion del horno. Al extremo opuesto de esta cámara llamada de humo, se encuentra otro cilindro de fierro, semejante al horno, pero sin forro alguno interior i de mayores dimensiones, destinado a secar la greda, como ya lo hemos indicado.

Volviendo al horno. La estremidad baja está cerrada por una tapa movable, en cuyo fondo hai un orificio por donde sale el producto calcinado.

El horno está interiormente forrado con ladrillo refractario, a fin de proteger la cubierta exterior de la accion del fuego, del desgaste por el frotamiento de las escorias i evitar la pérdida de calor por irradiacion, pues la temperatura interior es de 1 500 a 1 600 grados centígrados.

La causa porque no se estendió mas el uso del horno rotativo, luego despues de su invencion, fué debida a los muchos fracasos, causados por la falta de un buen material refractario para el revestimiento interior del horno. La dificultad no estaba en la resistencia al desgaste, propiamente dicho, sino a la destruccion producida por las reacciones químicas desarrolladas, entre la materia prima en calcinacion i el material refractario. Despues de mucho buscar, se encontró que un ladrillo con mas o ménos 41% de sílice i 49% de alúmina, era lo mas resistente. Pero hoi, se ha encontrado otro material mas adecuado i mucho mas barato, i es la escoria misma de cemento, ó el *Klinker* como especialmente se denomina el producto de la calcinacion.

Se elije un klinker de ciertas dimensiones i se hace un mortero con cemento puro aplicándose esta parte al interior en la zona de mas calor. Este revestimiento es mucho mas durable que el mejor ladrillo refractario.

La velocidad de rotacion del horno, es variable, pero como término medio puede decirse que es de una vuelta en dos minutos.

En la tapa del horno hai ademas del orificio por donde se introduce el combustible, otros destinados a inspeccionar el trabajo.

El aparato alimentador automático del horno deja pasar la cantidad de cemento crudo necesario por el tubo (10). El polvo, a medida que va avanzando sufre las siguientes transformaciones: 1. Pierde la humedad i el ácido carbónico; i, 2. entran en combinacion la cal, la sílice o la alúmina, dando lugar a la formacion de silicatos tricásicos i aluminatos bicásicos, a una temperatura de un principio de fusion. El klinker tiene el aspecto de granalla color café oscuro, mate, a veces se forman escorias del tamaño del puño de la mano.

El klinker al llegar al fin del horno, cae por el fondo de la tapa a los enfriadores. Se componen estos de dos cilindros de fierro, concéntricos (11) animados de un movimiento de rotacion. El klinker es empujado a traves del cilindro interior, por medio de unas hélices, adheridas a la cara interior del cilindro; cae al otro cilindro para enseguida ser elevado por medio de un elevador (12) i trasportado al depósito del klinker P por medio de un trasportador tubular.

Los cilindros enfriadores nacen de una cámara de albañilería (14) que sirve de union entre estos i los hornos.

El aire ambiente penetra entre los dos cilindros enfriadores, recorriendo el camino opuesto al klinker, tomándole su calor, llegando así a la cámara de albañilería a una alta temperatura.

Ahora veamos cómo se calienta el horno.

En (15) tenemos la seccion del combustible. El carbon al estado natural, penetra en el cilindro rotativo (16) a cuyo rededor circula el aire caliente que hemos dejado en la cámara (14) i abandona su humedad en este secador. Enseguida pasa a recibir una primera molienda en el kominor (17) igual a los ya descritos i enseguida se reduce a polvo fino por medio del molino tubular (18) que se diferencia a los ya descritos, en que su interior está forrado en porcelana mui dura, pero hai los mismos rodados de pedernal.

La molienda es tan fina, que sólo deja un residuo de 10% en el tamis de 4 900.

En seguida se almacena en pequeños depósitos, a causa de la facilidad para hacer explosion.

De los depósitos, el carbon se estrae por medio de tornillos diferenciales i es lanzado por el tubo (2) por medio de un ventilador centrífugo.

El aire caliente de la cámara (14) es estraido por medio de otro ventilador centrífugo i lanzado al centro del horno, por un tubo en cuyo eje se encuentra el otro tubo de mucho menor diámetro, por el cual es insuflado el carbon, formándose así un inmenso soplete, que, como hemos dicho, produce una temperatura de 1 500 a 1 600°.

La produccion de cada horno es de 60 a 70 toneladas en 24 horas.

El hornero tiene a su disposicion cuatro factores variables con los cuales puede dirijir la calcinacion:

- 1.º El cemento crudo.
 - 2.º La velocidad del horno.
 - 3.º La cantidad de combustible, i
 - 4.º La cantidad de aire para alimentar el soplete.
- Ya tenemos el cemento calcinado, nos falta la tercera operacion.

Molienda.—

El klinker, al salir del horno, es mui duro, i molido fresco produce un cemento mui rápido. Por este motivo se le deja reposar en el depósito P—miéntras mas tiempo mejor—ántes de molerlo. Esta operacion se ejecuta en la misma clase de maquinaria que ya hemos visto al tratar de la preparacion de la materia prima. Hai dos kominors i un molino tubular, este último es de mayores dimensiones, contiene 10 toneladas de rodado de pedernal, con una capacidad de molienda de 100 toneladas por 24 horas i con un consumo de 95 HP.

El klinker se estrae del depósito P en carros de tumba i por medio del elevador (22) i de un trasportador se alimentan los kominors. Otro elevador (23) eleva el producto molido para alimentar el molino tubular (24) i por último otro elevador lo coloca en una balanza automática, que rejistra el peso del cemento elaborado momento a momento, ántes de colocarlo sobre una banda continua de goma que lo distribuye en los silos, de donde se saca para espenderlo. El cemento así elaborado, deja un residuo de 15% en el tamis de 4 900.

El cemento recién molido, es mui sensible a las variaciones atmosféricas, por este motivo se dice que durante las primeras semanas está «vivo» i lo curioso es que estas alteraciones se producen en el interior de los silos, en miles de barriles en polvo colocados en una bodega herméticamente cerrada, como son los silos.

Un dia, en una gran fábrica de cemento en Alemania, un contratista compró todo un silo de cemento, prévio exámen, de fragua i resistencia, el cemento era lento. Despues de haber enviado el Establecimiento parte del cemento, se recibe del contratista un telegrama, protestando de que se le hubiera enviado cemento rápido i pidiendo la anulacion del contrato. Al dia siguiente llega al mismo Establecimiento, i con gran sorpresa notan, que todo el cemento se ha trasformado en rápido de la noche a la mañana. La esplicacion se tuvo cuando alguién hizo notar que en esos dias la temperatura media habia subido de dos grados. Esta gran sensibilidad va disminuyendo poco a poco, dia a dia, con el silotaje mas o ménos prolongado.

La bodega con los silos está dividida en ocho compartimentos, de los cuales hai habilitados solo cuatro por ahora, con capacidad para 1 200 toneladas de cemento en polvo cada uno.

La fuerza motriz, que pone en movimiento el Establecimiento, se compone de dos motores del tipo marino, que desarrollan 600 i 300 caballos efectivos respectivamente.

El vapor sobrecalentado a 250° i por 12 atmósferas de presión, es generado por

tres calderos tubulares, provistos de economizadores i consumen 0,850 Kg por caballo-hora.

Forma parte del Establecimiento i es un ausiliar poderoso una maestranza con todo el utilaje necesario para poder hacer todas las composturas que se necesiten.

El Laboratorio, contiene dos secciones; una, provista de todos los aparatos necesarios para efectuar las pruebas de resistencia en conformidad a las normas oficiales i una seccion de química donde se pueden efectuar los mas delicados análisis.

Las oficinas i las habitaciones del personal completan las instalaciones de este Establecimiento.

Ya hemos visto cómo se fabrica el cemento de «El Melon», ahora veamos aunque sea a la lijera, cuál es su composicion i cuáles sus cualidades. No es este cemento el único ni tampoco el primero que se fabrica en Chile. Ese honor le corresponde a la Fábrica de Cemento de La Cruz, i fué ella la que abrió el primer surco en esta industria i gracias al esfuerzo i perseverancia de sus fundadores, se puso en evidencia el hecho entónces mui discutido de que en este pais hubiera elementos para fabricar buen cemento Portland.

Una de las muestras de nuestro cemento da el siguiente análisis:

SiO ₂	24,48 %
R ₂ O ₃	7,57 »
Ca O	62,70 »
Mg O	1,57 »
S O ₃ ..	0,80 »
Pérdida por ignicion.....	2,33 »
	99,45 %

Aplicando estos datos a la fórmula de Le Chatelier, tendremos:

$$\frac{\text{Ca O}}{\text{Si O}_2 + \text{Al}_2 \text{O}_3 + \text{R}_2 \text{O}_3} = 1,96$$

De suerte que este cemento cumple estrictamente con la condicion de ser esta cantidad $\geq \frac{1,8}{2,2}$

La alta lei en silice — 24,48 % es un indicio de ser este un cemento especialmente adecuado para trabajos marítimos.

Se llama módulo de hidraulicidad, la relacion que existe entre la cal i los demas

elementos que contiene el cemento. Esta relación en todo buen cemento debe estar comprendida entre los siguientes límites:

$$\frac{\text{Ca O}}{\text{Si O}_3 + \text{Al. O}_3 + \text{F}_2 \text{ O}_3} > 1,8$$

$$< 2,2$$

Los componentes principales del cemento son, como lo hemos dicho, la sílice i la cal. El papel que hacen los otros elementos, es decir, la alúmina i el fierro, es el de facilitar las combinaciones de la cal con la sílice.

Si la lei en Si O_3 es baja, dentro de los límites del módulo, o en otros términos si hai exceso de cal, hai el peligro que parte de ésta quede sin combinarse con la sílice, es decir, que quede *libre*. Los cementos con exceso de cal son sumamente peligrosos porque con el tiempo la cal libre se hidrata aumentando de volúmen, desagregando las obras. Pero al mismo tiempo estos cementos ofrecen mayor resistencia. Hoi día con el empleo de las obras en cemento armado, se exigen cementos sumamente resistentes i para obtenerlos, hai que acercarse mas i mas al límite mas allá del cual es peligroso aumentar la lei en cal i como este cemento exige temperaturas mui altas, no es raro la de 1 800 centígrados en los hornos rotativos. Estos cementos son mui densos i de fragua lenta i difíciles de moler.

Por lo contrario, si la lei es baja en cal, en el horno la mezcla se corre a una temperatura inferior a la que se necesita para la formacion del klinker normal, estos cementos son livianos, de fragua rápida i nunca dan una gran resistencia. El klinker sale mui molido. Si la lei de Al. O_3 es alta, la fragua es mas rápida.

Los cementos cuya lei en sílice es alta, son los mas resistentes a la accion del agua del mar.

La magnesia, es otro de los elementos que se encuentra en el cemento, i la cantidad admisible es uno de los puntos mas disentidos en esta industria. Despues de algunos grandes fracasos debidos a cementos magnesianos, se redujo la tolerancia a 3%. En 1908 las normas alemanas admiten 4%. Este aumento se debe no tanto a lo inofensivo de tan pequeña cantidad, cuanto a que muchas fábricas tendrian que cerrar sus puertas si se restringiera esta tolerancia.

Lo que hai de cierto i en lo que están todos de acuerdo en esta cuestion de la magnesia, es que mientras menos contenga un cemento mejor, sobre todo en las obras marítimas. Los hidro-sulfúricos, son elementos nocivos que producen la desagregacion de los morteros. En Alemania se admiten $2\frac{1}{2}\%$

El papel que tiene el óxido de fierro en la resistencia del cemento es nula, pero es el componente que da el color verde oscuro que tiene. Ahora veamos sus cualidades físicas.

Núm. del Ensaye: 478.

Universidad de Chile

TALLER DE ENSAYES DE LA RESISTENCIA DE LOS MATERIALES

CERTIFICADO DE ENSAYE

de un aglomerante entregado por la «Sociedad Fábrica de Cemento de El Melon», el 7 de Setiembre de 1909:

Nombre del producto, dado por el remitente: Cemento Portland marca «Escudo».

Color de la muestra: Gris verdoso.

Peso específico: 3,124.

Peso de un litro (en estado suelto): 1,080.

La consistencia normal (determinada por medio del aparato de Tetmayer) correspondió a 26,75% de agua.

Temperatura de la sala: 16°.

FRAGUADO

Principió despues de.....	3,20 h
Terminó despues de.....	6,15 h
A la temperatura de.....	16°
Cantidad de agua.....	26,75%

CONSTANCIA DE VOLÚMEN

Estado de la muestra despues de 28 dias de inmersión en agua, cuya temperatura se mantuvo entre 15° C/mínim. i 17,30° C/máx.: *No presenta señales de alteracion.*

CERNIDO

Resíduo sobre el cedazo de 900 mallas.....	0,216%
Resíduo sobre el cedazo de 4 900 mallas. ...	12,637 »
Polvo fino (por diferencia).	87,157 »
Total.....	100%

Observaciones.—En la confeccion de las briquetas se empleó arena normal de Cartajena.

Pruebas de resistencia

Mortero normal 1 : 3

	RESISTENCIAS.—Kg por cm ²	
	A la traccion	A la compresion
A los 7 dias.	16,97	213,50
A los 28 dias.	22,54	342,50
A los 84 dias.	27,85	430,75

Proporción de agua: 7,25%

Santiago, a 9 de Octubre de 1909.

(Hai un timbre)
 (Firmado).—RUBEN DÁVILA,
 Jefe del Taller

La alta densidad de nuestro cemento, es indicio de buena fabricacion, no hai exceso de sílice i hai una buena calcinacion a alta temperatura. Todo cemento denso es siempre bueno.

La consistencia de volúmen, es una prueba de que el cemento no contiene cal libre i por lo tanto, no hai peligro de desagregacion. La *fragua* i la *resistencia* son las dos cualidades que en la práctica sirven para aquilatar un cemento i son cualidades únicas, pues son mui pocos los que ántes de comprar el cemento echan siquiera una ojeada sobre el análisis químico, siendo que sus cualidades de resistencia i durabilidad dependen de su composicion química.

Segun las teorías mas modernas, derivadas del estudio de la fragua del yeso, la fragua del cemento provendria de la hidratacion de los silicatos de cal formados en el horno i la cristalizacion simultánea de estos productos en presencia del agua.

Se dice que la fragua ha principiado cuando la aguja de Vicat penetra solo 6 mm en la galleta i que ha terminado cuando no deja impresion sobre su superficie. Algunos dividen los cementos en relacion al tiempo de fragua, en rápidos i lentos. En realidad, entre el cemento que fragua a los 7 minutos i que hemos preparado especialmente para varias obras, i el lento de 8 horas es imposible fijar una línea de separacion. En el cemento hai un tiempo de fragua que podriamos llamar normal

i es este de 4 horas. Se puede llamar normal porque los cementos rápidos, con el tiempo, van trasformándose poco a poco de por sí, en lentos, hasta obtener un tiempo de fragua de 4 horas. De la misma manera, los cementos lentos abandonados a sí mismo, van adquiriendo mayor rapidez hasta dar un tiempo de fragua igualmente de 4 horas.

Todo cemento fabricado en horno rotativo es rápido por naturaleza. Debo llamar la atención al alto grado de fineza de este producto, tanto del cemento crudo como del cocido. El cemento crudo deja un residuo de 15% en la malla de 4,900 por centímetro cuadrado. Los granos así tan finamente molidos dan lugar a una perfecta combinacion en el horno.

Un mismo cemento, miéntras mas fino, es de mejor calidad, porque hai mas seguridad de que si hai cal libre, ésta se hidrata pronto; porque la fragua tendrá lugar simultáneamente en toda la masa, i por último, porque su empleo es mas económico por el hecho de que se puede aumentar la proporcion de arena en el mortero.

Si se toma un cemento fraguado i se muele de nuevo a un grado de fineza mayor que el que tenia ántes de fraguar, i se le agrega agua, vuelve este de nuevo a fraguar, eso sí que su resistencia será un 50% ménos que la primitiva. Esto prueba, que al efectuarse la primera fragua, la hidratacion se produjo únicamente en la periferia del grano de cemento, quedando el centro sin hidratarse i en estado de fraguar, lo que sucede al partirlo, es decir, moliéndolo mas fino, de manera que cuanto mas fino es el cemento, mayor es su capacidad fragua.

Aquí es el caso de hacer notar un hecho curioso referente a la fineza, i es que el silotaje produce lo que los ingleses llaman *automolienda*. En efecto, es fácil comprobar que con el reposo no solo se ha regularizado el tiempo de fragua i aumentado la resistencia, sino que al mismo tiempo el cemento ha aumentado en grado de fineza.

Es ésta otra de las curiosas cualidades del cemento, cuya causa permanece aun en el misterio.

Un cemento, miéntras mas fino es mas rápido, porque la hidratacion es mas completa i simultánea, i de aquí la necesidad de agregarle yeso, para así retardar la fragua i poder aprovechar las cualidades de un cemento mui fino.

Ahora llegamos a los resultados de la resistencia, tanto a la tracción como a la compresion. Las normas oficiales de la Direccion de Obras Públicas son las siguientes:

Resistencia en Kg por cm² de un mortero normal de 1 : 3:

7 dias.....	Traccion 12	Compresion 120
28 »	» 18	» 180

El Laboratorio de la Universidad de Chile, nos da los siguientes resultados:

7 dias.....	Traccion 16,97	Compresion 213,50
28 »	» 22,54	» 342,54

Son mui diversas las opiniones sobre la importancia de estas pruebas. Los ingleses, por ejemplo, ni aun mencionan las pruebas de compresion, en cambio, en otros paises de Europa, solo le dan importancia a las pruebas a la compresion a los 28 o mas dias. I se fundan para ello que en la gran mayoría de las obras, el cemento solo recibe esfuerzos de compresion:

En el año 1850, se le exijia al cemento Portland la siguiente resistencia a la traccion:

		Kg por cm ²	
		Cemento puro	Mortero 1 : 2
5 dias.....	Traccion	9	Compresion 4,5
30 »	»	17,1	» 9

Resultados por cierto mui inferiores a los que se obtienen hoi dia.

Las normas alemanas exigen hoi dia:

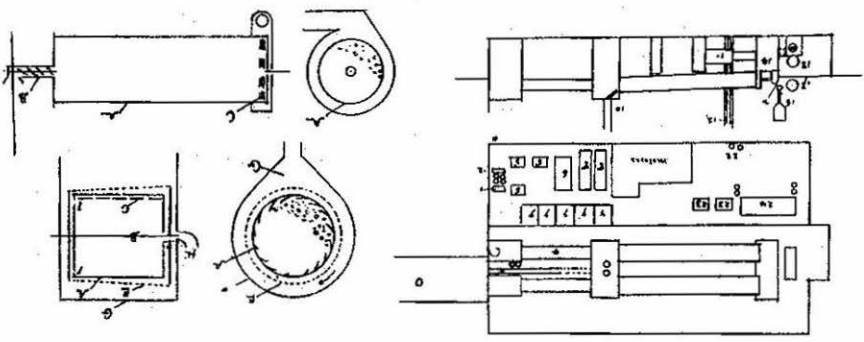
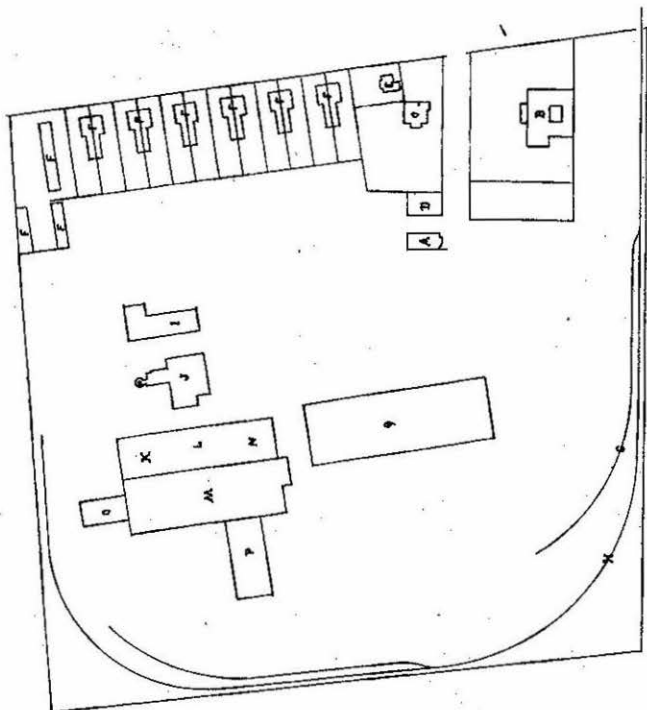
28 dias.....	Traccion	16	Compresion 160
--------------	----------	----	----------------

Las normas americanas:

7 dias.....	Traccion	10,54	a 14,06
28 »	»	14,06	a 21,09

Como se ve, nuestro producto llena perfectamente las exigencias de todas las normas.

Fábrica de Cemento de El Melón
 La Calera
 Plano general
 Escala de 1/100



ESTACION DE LA CALERA