

## PLANTA PILOTO PARA CEMENTOS

Joaquín PORRERO\*

Guillermo ADAMS\*

### RESUMEN

*Se describe el equipo de la Planta Piloto instalada por el IDIEM para el estudio de la fabricación de cemento.*

*Para ello se sigue el curso de la obtención del primer cemento portland de prueba, cuya calidad indica que las posibilidades de la Planta son satisfactorias.*

*Se hace una breve descripción de cada máquina con indicación de cómo se empleó en la fabricación de dicho cemento y de otras condiciones en que puede ser usada.*

### INTRODUCCION

En un folleto de principios del año 1961 dimos a conocer de una manera esquemática el equipo para la fabricación experimental de cemento con que cuenta la Planta Piloto instalada por el IDIEM en Cerrillos. Intentamos ahora ampliar aquella descripción y complementarla con algunas indicaciones relativas a las posibilidades de cada maquinaria.

La Planta cuenta actualmente con los elementos básicos necesarios para la obtención de cemento portland y cementos derivados de él. Algunas de las máquinas se eligieron de características tales que pudieran prestar un servicio común con otras plantas posibles de instalar en el futuro destinadas al estudio de otros materiales.

Como la mayor parte de las operaciones básicas necesarias para la fabricación de cemento - trituración, molienda, calcinación- son frecuentes en la

---

\*Sección Investigación Química, IDIEM.

preparación de diversos materiales, algunas de las maquinarias de la Planta se están empleando desde su instalación y hasta donde es posible, en el estudio de la elaboración de varios productos. Esto dió lugar a probar independientemente cada máquina en distintas condiciones de trabajo.

Ya a principios del año 1962, se obtuvo en la Planta Piloto un cemento portland de prueba. Como la fabricación de este producto exige que intervenga la mayor parte de las maquinarias actuales, creemos que la descripción de su obtención, acompañada de indicaciones sobre las posibilidades de cada máquina es un buen camino para dar a conocer la Planta.

## CARACTERISTICAS DEL CEMENTO

En sí misma la fabricación de este cemento de prueba no tiene novedad alguna; se siguieron los procedimientos tan conocidos usuales en la obtención del portland, con sus exigencias de riguroso control químico, cálculo adecuado de la mezcla, y dosificación precisa de las materias primas.

Como materia prima principal se empleó roca caliza de 92% de riqueza en carbonato cálcico. Como material suministrador de sílice y alúmina se empleó ceniza volcánica (puzolana), que en general es considerada como material de difícil clinquerización, pero que en este caso dio excelentes resultados. Además se añadieron pequeñas cantidades de mineral de hierro para facilitar la fusión del material hasta un grado que nos asegurara un amplio margen de posibilidades en el horno.

En la Tabla I damos la composición de las materias primas, la proporción en que se emplearon, las características del clínquer que deseábamos obtener, el análisis del crudo y el del cemento que se obtuvo después de una pequeña corrección del crudo, la cual explicamos más adelante.

El cemento, preparado por la molienda conjunta del clínquer obtenido y el 4% de yeso, tenía las características que damos en la Tabla II.

La composición mineralógica, calculada por la forma de Bogue, es muy próxima a la que habíamos establecido de antemano. Las resistencias mecánicas obtenidas son las que se podrían esperar de un buen cemento portland de esa composición y finura.

TABLA I

## COMPOSICION QUIMICA DEL CEMENTO DE PRUEBA, MATERIAS PRIMAS Y MATERIALES INTERMEDIOS

	Puzolana	Caliza	Hierro	Clínquer esperado	Crudo	Cemento con 4%
Pérdida por calcinación, %	5,93	42,10	7,32	0,00	35,03	1,64
SiO <sub>2</sub> , %	69,89	2,62	13,99	21,04	12,97	20,08
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , %	13,52	1,12	4,78	4,98	3,26	4,96
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , %	3,07	1,34	71,11	7,81	5,11	7,44
CaO, %	0,63	51,36	0,00	62,52	41,33	60,80
SO <sub>3</sub> , %						1,74
No dosificados, %	6,96	1,46	2,80	3,65	2,30	3,34
Proporción en la mezcla,	15,7	79,3	5,0			
Corrección	1,2				98,8	
Residuo Insoluble, %						0,36
Cal libre, %						0,15
Módulo fundentes	---	---	---	0,64	---	0,66
Módulo silíceo	---	---	---	1,65	---	1,62
Módulo hidráulico	---	---	---	1,85	---	1,85
Indice de Kühl	---	---	---	0,92	---	0,93
FAC <sub>4</sub> , %				23,7		23,6
AC <sub>3</sub> , %				0,0		0,4
SC <sub>2</sub> , %				22,1		22,0
SC <sub>3</sub> , %				50,5		49,5
Finura Blaine, cm <sup>2</sup> /g					2300	3200

TABLA II

## CARACTERISTICAS FISICAS DEL CEMENTO DE PRUEBA

Ensayos según normas INDITECNOR

Fraguado		Indeformabilidad al agua y al va- por	Agua de Consis- tencia normal	Resistencia la compresión			
Principio	Final			días -	kg/cm <sup>2</sup>		
2h 25m	5h 20m	Buena	26,75%	3	7	28	90
				362	489	566	644

## ESQUEMA DE LAS INSTALACIONES

Las máquinas de la Planta, dentro de su pequeño tamaño, son en general análogas a las industriales y el proceso de fabricación del cemento es igual.

Las materias primas se pasan inicialmente por una trituradora de mandíbulas hasta obtener el tamaño adecuado para el molino de bolas. Antes de entrar en éste se mezclan cuidadosamente entre sí en las proporciones establecidas. En el molino de bolas se obtiene la harina cruda ya homogenizada, que si es necesario puede ser corregida y vuelta a pasar por el molino. La harina cruda preparada ("crudo") se premoldea en un plato granulador y se pasa al horno de calcinación rotatorio donde se clinqueriza. El clínquer, después de frío, se tritura y se mezcla en la proporción requerida con yeso también triturado y eventualmente con los agregados correspondientes. Por último se muele nuevamente el conjunto en el molino de bolas hasta la finura deseada obteniéndose el cemento.

En la Planta Piloto el movimiento de material entre operaciones se realiza a mano, lo mismo que las dosificaciones, que se hacen por pesada.

## TRITURACION

Toda la trituración necesaria se hace en una trituradora de mandíbulas DENVER, fabricada en Chile bajo licencia. Por el tipo de trabajo que debe desempeñar, la capacidad de esta máquina es muy superior a la de las restantes.

De los materiales empleados en la preparación del crudo para el cemento de prueba, solamente la caliza necesitó trituración previa a la molienda: los trozos de roca de hasta 120 mm de diámetro se redujeron en una sola pasada a tamaño inferior al del tamiz ASTM Nº 4. Este es el tamaño mínimo que se obtiene en las condiciones usuales de trabajo en la trituradora, y es apropiado para la alimentación del molino de bolas cuando se trata de materiales de dureza y tenacidad medias, como la caliza empleada.

Se pueden obtener tamaños de triturado menores empleando en vez de muelas estriadas un juego de muelas lisas, o tamizando el triturado y volviendo a pasar las partículas más gruesas. Por estos procedimientos obtuvimos con materiales muy tenaces tamaños de triturado inferiores al tamiz ASTM Nº 16. Los cantos rodados, como ripio de río, debido al deslizamiento, tienen que ser triturados inicialmente con muelas estriadas.

## MOLIENDA

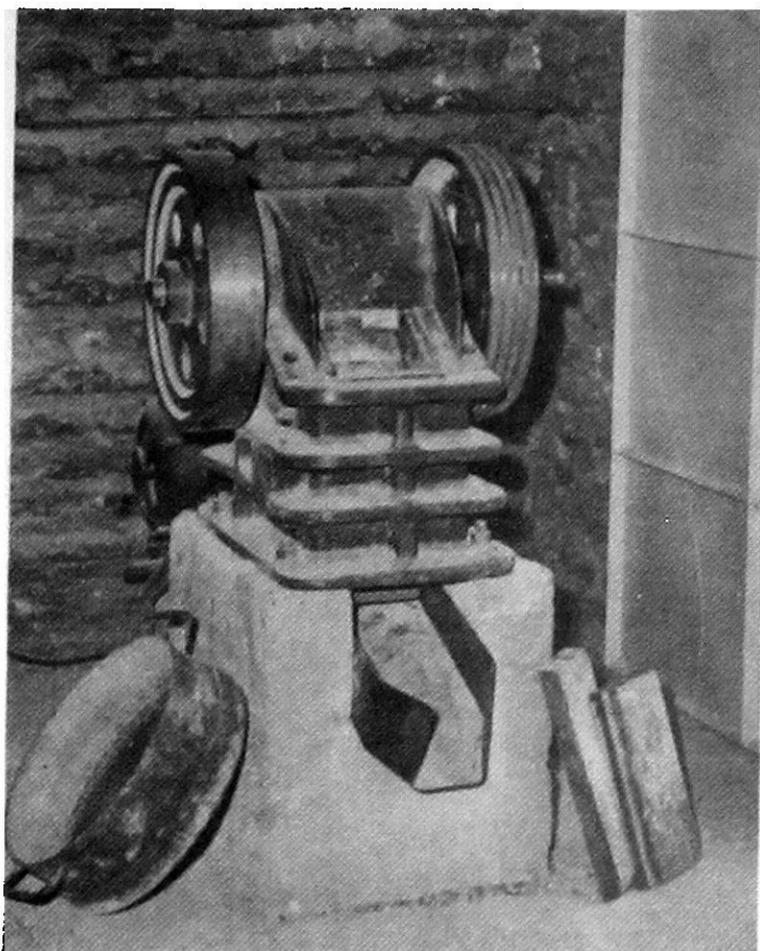


Fig. 1. Trituradora de mandíbulas.

Esta unidad se emplea tanto para preparar el crudo como para moler el cemento ya que la finura es fácilmente regulable dentro de los intervalos usuales para ambos productos.

El crudo de prueba se molió a  $2300 \text{ cm}^2 \text{ g}$  de finura Blaine con un rendimiento de aproximadamente  $50 \text{ kg h}$ .

El molino de bolas es de la casa y tipo HARDINGE (Estados Unidos), con recipiente moledor en forma de pera. Trabaja en circuito cerrado con un clasificador de aspas regulable, y con un ciclón separador de aire y polvo; el pequeño exceso de aire con que trabaja la unidad pasa a la atmósfera a través de un filtro de mangas.

La alimentación se hace con una cinta basculante que mantiene la carga apropiada, la que finalmente se regula con un "oído" electrónico, sensible al distinto ruido que produce el distinto grado de llenado del recipiente moledor.

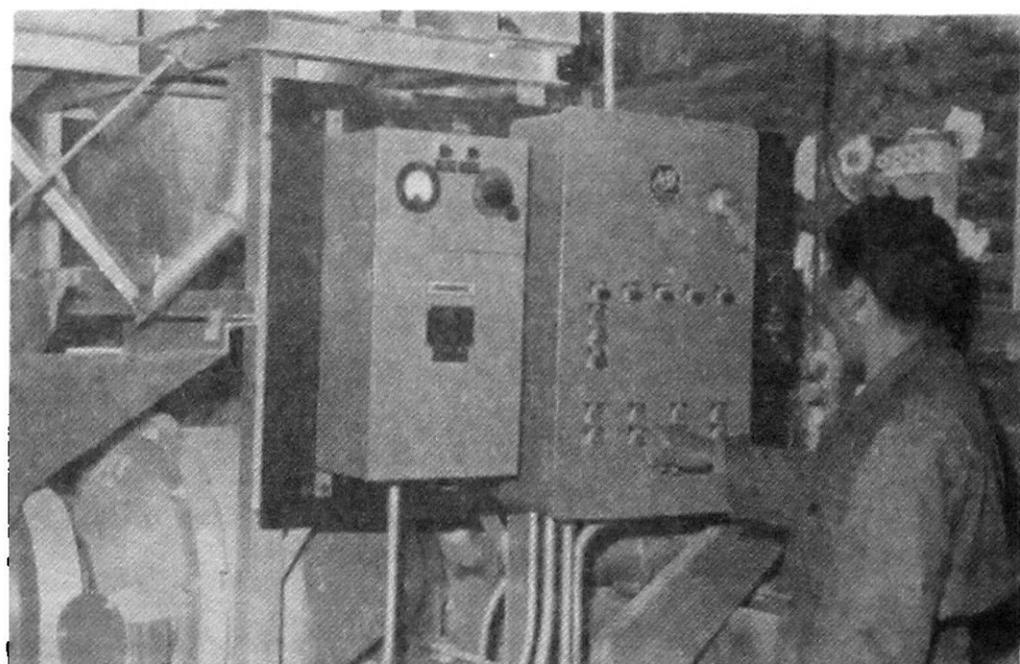


Fig. 2. Tablero de control de la unidad de molienda HARDINGE.

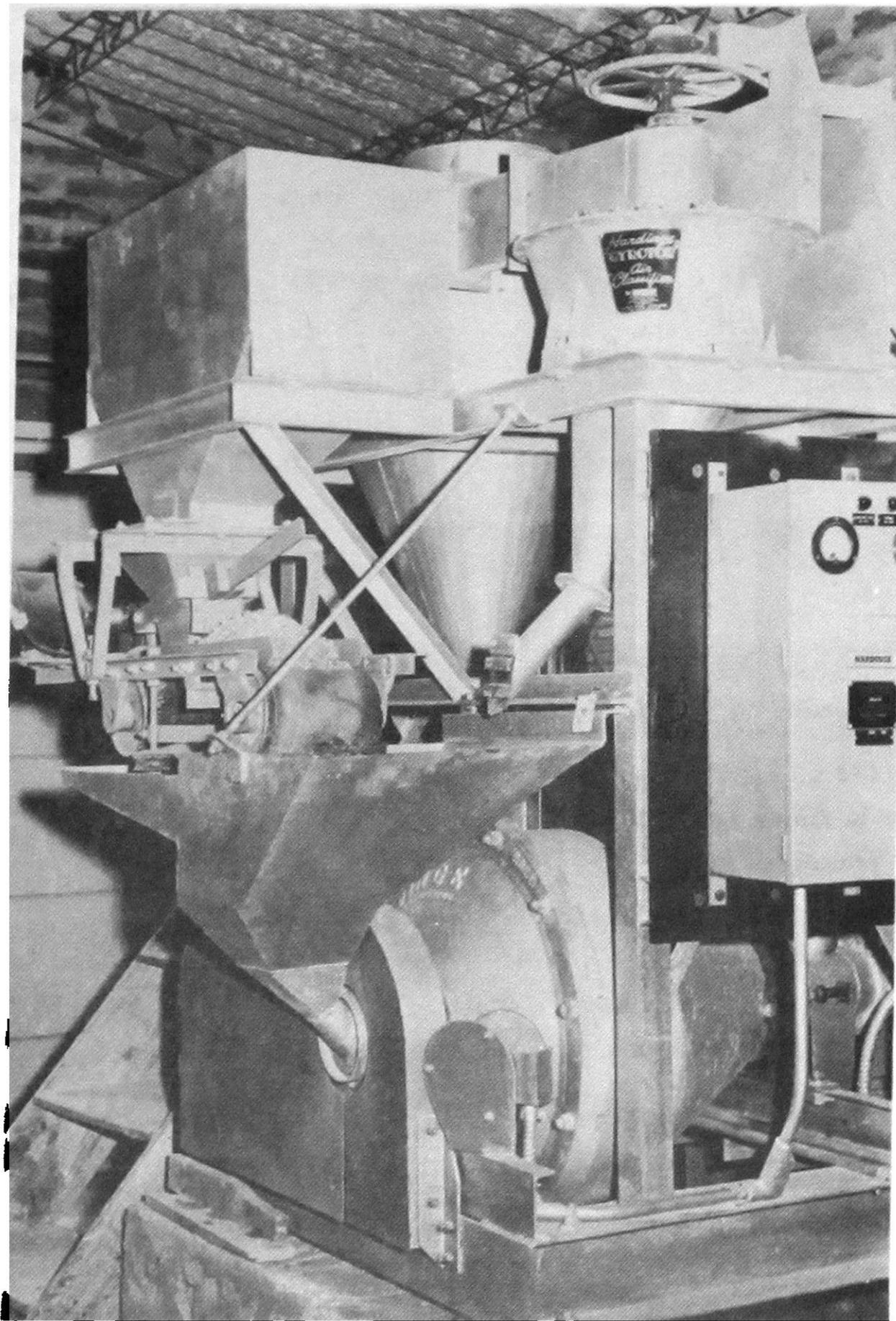


Fig. 3. Unidad de molienda HARDINGE.

El cemento (clínquer más 4% de yeso) se molió a  $3200 \text{ cm}^2/\text{g}$  de finura Blaine y el rendimiento fue de  $35 \text{ kg/h}$ .

Las cifras dadas son cercanas a las medias que se pueden esperar de la unidad, por lo menos empleándola para la obtención experimental de cementos.

Desde luego que se pueden obtener finuras mucho mayores o emplear tamaños de alimentación algo mayores, pero sólo a condición de que el material tratado sea algo más blando, o de que se rebaje considerablemente el rendimiento

de la unidad. Como ejemplos diremos que con un material análogo al crudo que comentamos se pudo obtener una finura de hasta  $4.800 \text{ cm}^2/\text{g}$  de finura Blaine, siendo entonces el rendimiento menos de un tercio del anterior. Con este mismo material se obtuvo un rendimiento de  $87 \text{ kg/h}$  al regular la finura de forma que quedara un 10% sobre el tamiz ASTM nº 30.

## PREPARACION DEL CRUDO

La cantidad mínima de material que se debe preparar en cada molienda está limitada por la posibilidad de llegar a establecer un régimen de producción uniforme y homogénea.

Del crudo de prueba se prepararon 100 kg pesando los tres materiales que lo integran con una precisión de  $+ 0,05 \text{ kg}$  (pesada mínima  $6,200 \text{ kg}$ ) y homogeneizándolo a mano, con pala, antes de pasarlo al molino de bolas. El análisis del crudo preparado no correspondía a la dosificación empleada: se había perdido una pequeña cantidad de puzolana. Consideramos que esto se debe a que el clasificador produce una segregación del material que hace que la primera parte molida sea más rica en partículas blandas, y el residuo que queda al final en el tambor moledor, lo sea en las más duras.

En nuestro caso se había despreciado solamente el residuo final, lo que consideramos como causa de la variación de la composición.

El crudo se mezcló con 1,2% más de puzolana y se pasó nuevamente por el molino con lo que la finura final quedó de  $2800 \text{ cm}^2/\text{g}$  de finura Blaine.

Para evitar la influencia del efecto de la segregación y además no tener que limpiar totalmente el molino de restos de moliendas anteriores, calculamos que se deben preparar de cada vez por lo menos 200 kg, en el caso de crudo; de ellos se despreciarán los primeros 50 kg que se muelan y los 7 kg que quedan como residuo en el recipiente moledor.

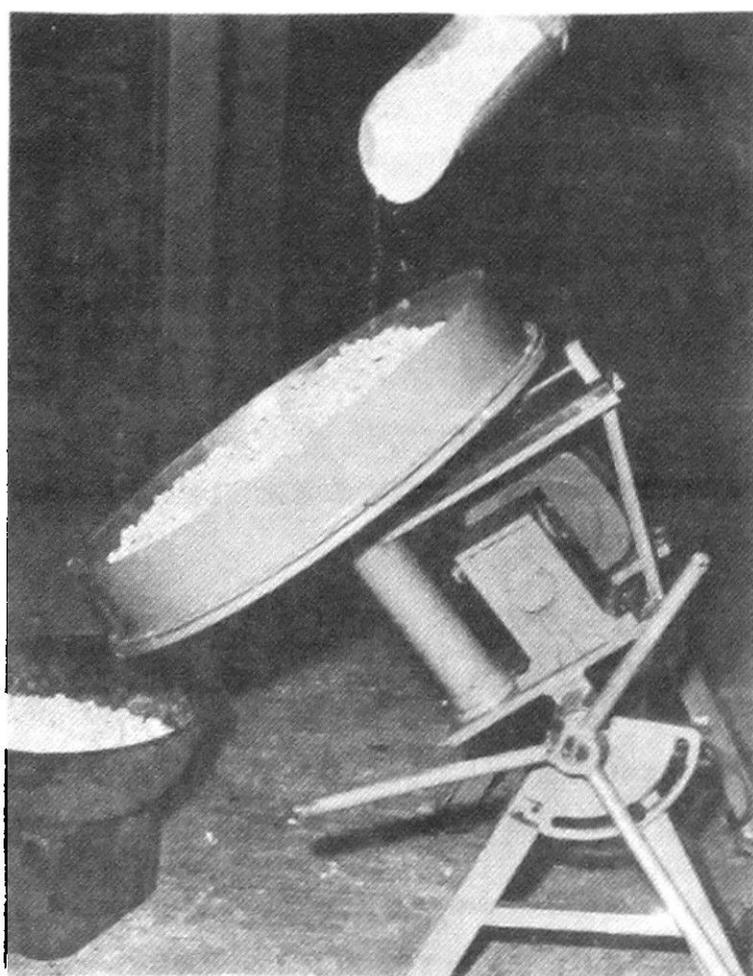


Fig. 4. Plato granulador.

## GRANULACION

El plato granulador, construído totalmente en los talleres del IDIEM, tiene el disco de granulación de acero inoxidable, de 500 mm de diámetro, con un reborde de altura fija de 70 mm; puede girar a una velocidad que es variable entre las 10 r.p.m. y las 38 r.p.m. y trabajar en cualquier ángulo de inclinación.

La alimentación del plato se hace a mano y el agua necesaria para la formación de los gránulos se deja gotear desde un recipiente apropiado.

El crudo de prueba se dejaba granular perfectamente. Se hicieron gránulos de 7 a 12 mm de diámetro.

Este plato se utilizó también en el moldeo de otros diversos materiales con excelente resultado en cuanto a calidad de los gránulos y posibilidad de tamaño. Se empleó incluso para materiales no granulables por sí mismos, los cuales se aglomeraron empleando solución de azúcar en vez de agua.

## CLINQUERIZACION

El horno rotativo de la Planta Piloto es un horno de prueba tipo LABOR de la casa POLYSIUS, Alemania. El tubo giratorio, de acero especial revestido interiormente del refractorio adecuado, tiene 5.000 mm de longitud y 290 mm de diámetro útil. Trabaja apoyado en dos juegos de rodillos, que permiten variar ligeramente la inclinación. El mecanismo de marcha es regulable a cualquier velocidad comprendida entre 2,5 r.p.m. y 15 r.p.m. Los cabezales de carga y descarga en los extremos del tubo hacen que la longitud total del horno sea de unos siete metros.

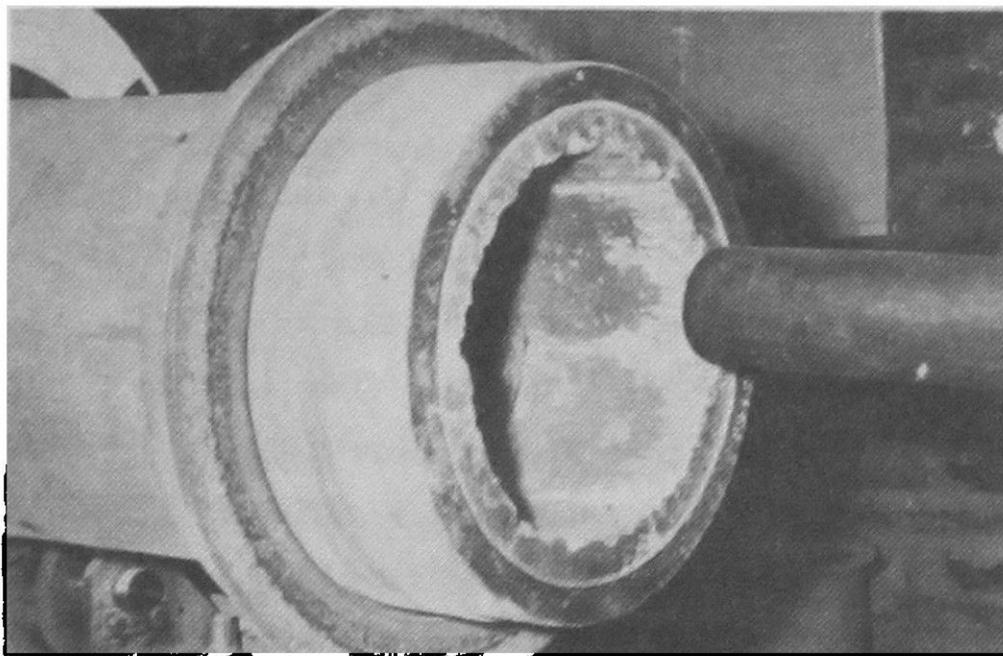


Fig. 5. Detalle del horno.

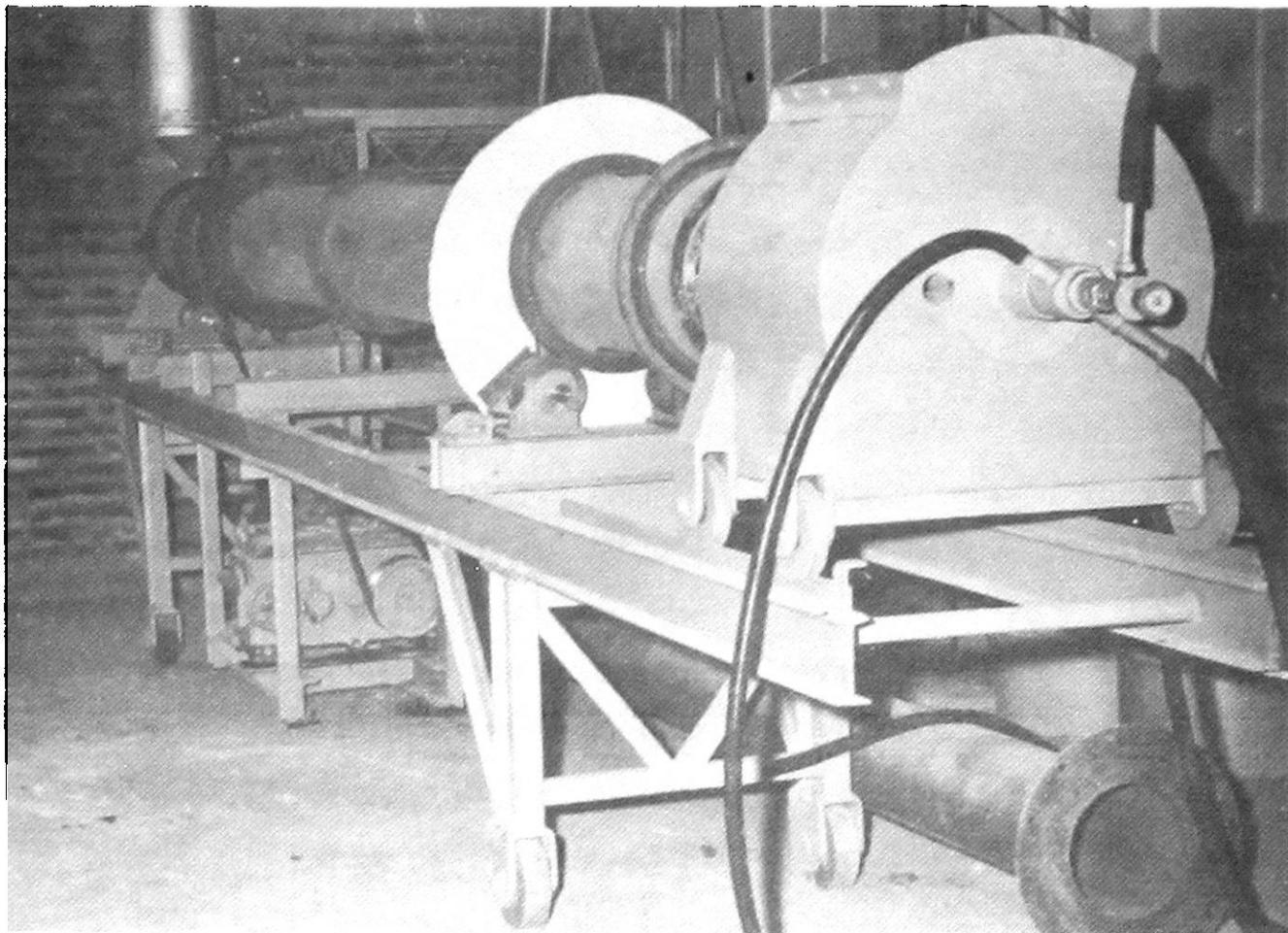


Fig. 6. Horno.

La calefacción es a petróleo, con un mechero de inyección forzada. Este sistema calefactor exigió de nuestra parte un ajuste de las condiciones de trabajo: el compresor de aire tuvo que sustituirse por otro de mucha mayor capacidad, se hicieron también juegos de boquillas para las distintas condiciones de calcinación y se preparó el combustible por mezcla de los existentes en el mercado nacional.

En las condiciones actuales, se pueden obtener temperaturas de  $1.550^{\circ}\text{C}$  que para este tipo de horno y con velocidades de paso del material aceptables, consideramos suficientes para los crudos de relativamente alto punto de sinterización.

El control de temperatura se hace con un pirómetro óptico.

El horno no tiene sistema de recuperación de polvo, lo que dada la fuerte corriente de gases de combustión, obliga a emplear los materiales bien premoldeados para evitar pérdidas.

Debido a la relativamente corta longitud del horno para la llama que exigen las temperaturas de trabajo, la temperatura de los gases en el extremo de carga llega a  $650^{\circ}\text{C}$ , lo que exige introducir los gránulos secos para evitar que se deterioren.

Los gránulos del crudo de prueba se dejaron secar al aire durante 24 horas y se calcinaron a  $1.450^{\circ}\text{C}$  en una sola pasada por el horno a una velocidad de 20 kg de clínquer por hora y con permanencia total de 40 minutos.

Los gránulos mantuvieron su forma al paso por el horno, sin adherencia alguna a las paredes ni pérdidas de polvo, y en la descarga se mantenían sueltos o muy poco adheridos entre sí, perfectamente clínquerizados, negros y muy duros; al partirlos presentaba un aspecto interior homogéneo.

Una pequeña parte del material, que luego no se empleó para el cemento, se hizo pasar a una temperatura superior, obteniéndose masas de gránulos aglomerados y escorificados, iniciándose en algunos puntos la adherencia al refractario de la pared la que en ningún caso dejamos prosperar, para evitar la contaminación de los materiales que se calcinaran posteriormente.

En la cocción de otros diversos materiales distintos de clínquer, se constató que es posible hacer que el horno caliente de forma regular y continua ya a partir de los  $800^{\circ}\text{C}$ . Temperaturas más bajas exigirían modificar el sistema calefactor.

### ALTAS FINURAS

Para finuras superiores a las normales en el molino de bolas, se cuenta con un molino vibrador VIBRATOM.

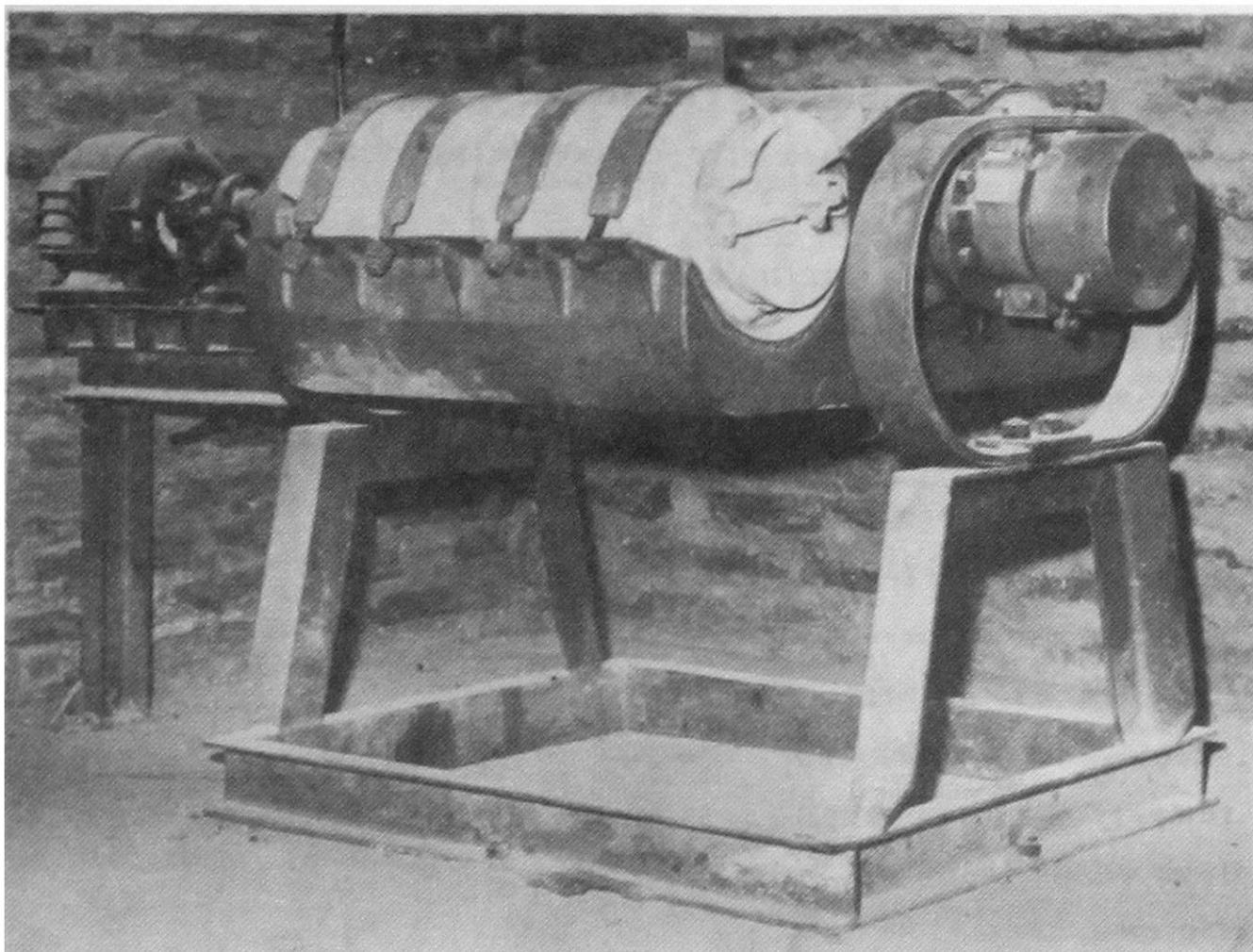


Fig. 7. Molino vibrador.

Lleva conectados al soporte vibrador cuatro recipientes de porcelana, cada uno de 4 litros de capacidad moledora. Las bolitas de tamaño uniforme que efectúan la molienda, también son de porcelana.

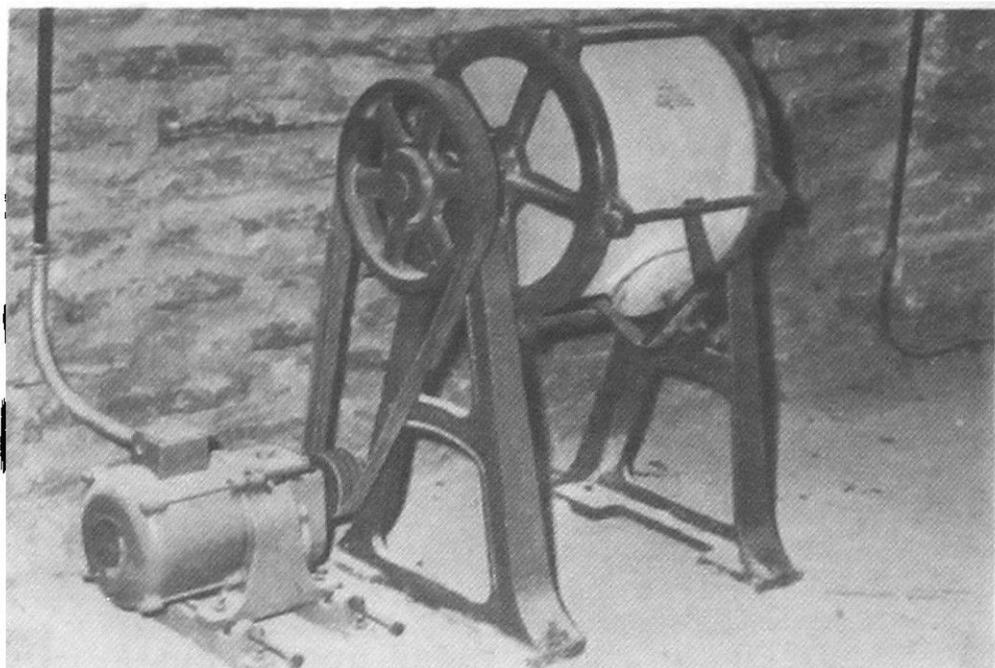


Fig. 8. Tambor moledor.

En este molino se debe introducir el material ya fino: se comenzó a observar buen rendi-

miento con tamaños por debajo del tamiz ASTM nº 50, aunque admite tamaños mayores. La finura final depende del tiempo de molienda, pudiendo llegarse a tamaños de partículas próximas a los de los coloides.

El rendimiento, medido como tiempo de molienda, depende de la clase de material, del tamaño a que se introduce y de la finura que se desea obtener. Una puzolana que se introdujo a tamaño inferior al del tamiz ASTM nº 100, necesitó 6 horas de molienda para llegar a los  $9.000 \text{ cm}^2/\text{g}$  de finura Blaine.

Con estas moliendas finas se puede estudiar en forma acelerada la actividad de los agregados que se incorporan con frecuencia al portland.

## OTRAS MAQUINARIAS

En la Planta hay además otros dos molinos para la preparación de muestras: uno de discos de 200 mm de diámetro, y el otro un tambor de porcelana con elementos moledores también de porcelana y una capacidad moledora de 5 litros.

Se usa además para los trabajos de la Planta un "microscopio de fusión" instalado en el Instituto. Es de la casa LEITZ, diseñado para determinar puntos de fusión en cenizas. Permite seguir visual o fotográficamente todos los cambios que experimenta una pequeña muestra al calentarla gradualmente hasta temperaturas de  $1.600$  o  $1.800^\circ \text{C}$ , por lo que lo empleamos como valioso auxiliar en la determinación del comportamiento de los crudos a la clinquerización.

## CONTROL

En la Planta se cuenta solamente con los elementos de control necesarios para la fabricación (finura, temperatura, densidad, etc.), empleándose para los controles químico y de calidad los equipos del Instituto.

.

## OTROS DATOS

Una posibilidad de las instalaciones de la Planta, que es de gran interés, es el estudio de consumos de combustible y energía con los diversos materiales y tratamientos, posibilidad que no queremos comentar ahora por considerar insuficientes los datos que para ello poseemos. Tenemos, desde luego, algunos datos de cada máquina aisladamente pero no se ha hecho ningún cálculo para convertirlos a valores aplicables a las instalaciones industriales.

## PILOT PLANT FOR CEMENT

### SUMMARY

*The equipment and machinery of the Pilot Plant to study cement fabrication built by IDIEM (Universidad de Chile) are described.*

*The production of the first trial batch of portland cement is reviewed stating the quality of the cement obtained and how each unit of the Plant has performed.*