

CONCLUSIONES

Como en la zona de la intercara el acero 20K está comprimido por el titanio se hizo el ensayo de compresión para éste dando el límite elástico entre 400-500 MPa y el ensayo de tracción para el titanio estando entre 450-550 MPa; en ambos casos estos valores están muy cercanos al valor de las tensiones residuales que aparecen en el corte 4 para $S_{acero} = 5,18$ mm; esto nos infiere que ambos materiales están a punto de fluir.

Durante el sucesivo desbaste se pone de manifiesto un incremento de la flecha en las muestras; si esto no sucediera es porque hay que tener un cuidado especial a la hora de la distribución de la carga encima de la plancha que se proyecta.

Las deformaciones son de carácter plástico debido al elevado nivel de las tensiones.

En el caso del segundo desbaste del acero las tensiones en éste ya sobrepasaban su límite de elasticidad, el valor de las mismas fue de 560 MPa.

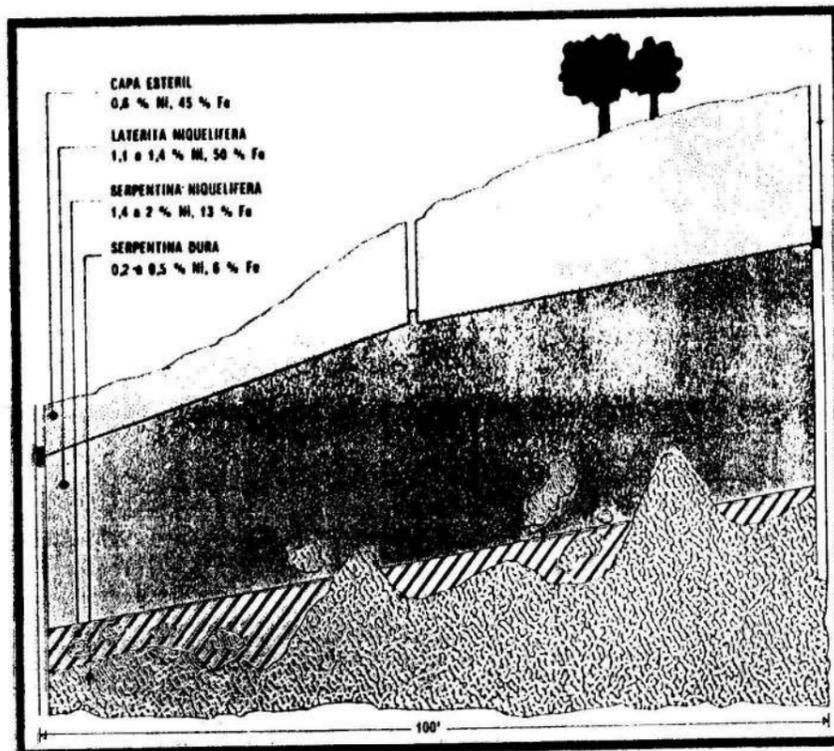
También en el cuarto desbaste se obtuvo inmediatamente una flecha $f = 0,93$, al cabo de 24 horas, $f = 905$, y para 120 horas $f = 0,935$, para el cálculo utilizamos la última medición.

Para un trabajo posterior de deformación de estas planchas debe ser empleado un tratamiento de alivio de tensiones, en el caso específico del titanio hay que protegerlo en una atmósfera para evitar su posterior contaminación.

REFERENCIAS

1. BELLO, J. M.: Revista de metalurgia, CENIM, enero-febrero, 1992.
2. GELMAN, A. C.: Plaqueado del acero por explosión. Ed. Construcción de Maquinarias, Moscú, 1978.
3. KONON, Yu. A.: Soldadura por explosión. Ed. Construcción de Maquinarias, Moscú, 1987.
4. PAKATAEV, E. P., y otros.: "Tensiones internas en la soldadura por explosión" en Producciones Soldadas, Número cuatro, 1980.
5. STIOPIN, P. A.: Resistencia de materiales. Ed. Mir 4ta edición Moscú, 1977.

Los yacimientos de lateritas niquelíferas de Nicara se presentan como mantos residuales, resultantes de la intemperización de la serpentina, y en la mayoría de los casos yacen en lugares que tienen una elevación comprendida entre 150 y 300 metros. El minado se realiza "a cielo abierto".



Perfil típico de un depósito de mineral oxidado de Níquel en el noreste de Cuba.

DETERMINACION DE LA COMPONENTE CASUAL DE LA VARIABILIDAD DE LA MENA EN LOS BLOQUES DE EXTRACCION DEL YACIMIENTO LATERITICO DE MOA

Dr. Santiago Bernal Hernández*
Ing. Elena Cardero Cardero**

* Centro de Investigaciones de la Laterita
** Instituto Superior Minero Metalúrgico

RESUMEN: Es propuesto un método de determinación de la función de correlación para el modelo bidimensional de la variabilidad de la calidad de la mena, el cual considera las particularidades específicas de la información geólogo-topográfica en los bloques de extracción del yacimiento laterítico de Moa. Se muestra lo incorrecto del procedimiento de encontrar la función de correlación espacial por los métodos tradicionales que están orientados al modelo unidimensional de la variabilidad. Se establece la presencia de una relación de correlación espacial considerable de los componentes fundamentales controlados en los bloques meníferos del yacimiento, lo que permite elevar la efectividad de la dirección de la calidad de la mena en el proceso de extracción.

ABSTRACT: A method to correlation function determination in the variability bidimensional model is proposed, which considers the specific particularities of the geologic and topographic information of Moa deposit. The presence of a spatial correlation relation of the main controlled components in the extraction blocks is established, which allow to raise the effectivity in the ore quality direction in extracting process.

La elevación de la fiabilidad en la dirección efectiva de los trabajos de extracción en la cantera Moa deben basarse en la aplicación de modelos matemáticos correctos, los cuales describen la variabilidad natural de la calidad de la materia prima mineral o de la potencia de los bloques mineros. En la cantera Moa actualmente se controlan los contenidos Ni, Co, Fe y potencia (P), por lo que los modelos deberán describir la variabilidad de estos índices. En lo sucesivo, designaremos al componente arbitrario controlado a través de X.

En el caso general se recomienda utilizar modelos del siguiente tipo:

$$X(P) = X_d(P) + \hat{X}(P) \quad (1)$$

donde:

$X_d(P)$ - tendencia (trend)

$\hat{X}(P)$ - función casual central isotrópica

P- punto arbitrario del bloque minero

De (1) se deduce que:

$$\hat{X}(P) = X(P) - X_d(P) \quad (2)$$

Los bloques mineros en el yacimiento Moa habitualmente tienen forma cuadrada con lados de longitud de 300 m. En ellos existen 81 excavaciones de la exploración de explotación, es decir, para el bloque se tiene un volumen comparativamente pequeño de datos iniciales, por eso es

suficiente buscar la componente determinística en formas simples, por ejemplo, en forma de polinomios de segundo orden como máximo. Los cálculos muestran que para el yacimiento Moa en calidad de trend, se puede utilizar el valor medio \bar{X} del componente X en cada bloque, lo que no influye sustancialmente en la exactitud de los resultados del pronóstico.

La componente casual puede describirse con ayuda de la función de correlación exponencial $K_x(\bar{r})$, la cual considera el carácter anisotrópico de la variabilidad.

$$K_x(\bar{r}) = K_x(x,y) = D_x \text{Exp}(-\alpha_{m\acute{x}} A_x X^2 + B_y Y^2 + 2 D X Y) \quad (3)$$

donde:

D_x - dispersión del componente X

X y Y- proyecciones del vector desplazamiento \bar{r} entre los dos puntos analizados del bloque en el eje de coordenadas.

$$A_1 = \frac{1}{q^2} \cos^2 \gamma + \text{sen}^2 \gamma \quad (4)$$

$$B_1 = \frac{1}{q^2} \text{sen}^2 \gamma + \cos^2 \gamma \quad (5)$$

$$D_1 = \left(\frac{1}{q^2} - 1 \right) \cos \gamma \text{ sen } \gamma \quad (6)$$

$$q = \frac{\alpha_{m\acute{x}}}{\alpha_{m\acute{i}n}} \quad (7)$$

donde:

γ - ángulo entre la dirección de la variabilidad máxima del componente X y el eje de las abscisas.

q - coeficiente de anisotropía.

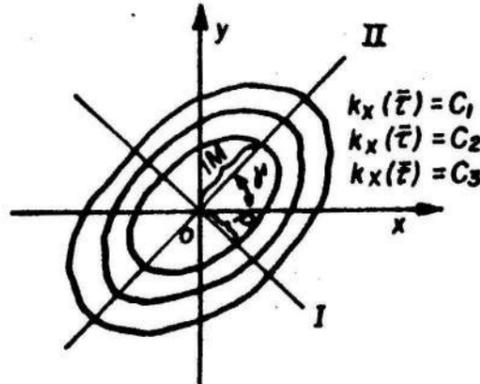


FIGURA 1.

El conjunto de las funciones casuales K_x en caso general depende de la dirección l (caso anisotrópico). En este caso las isofunciones de la función de correlación $K_x(\bar{r})$ forman en el plano curvas cerradas, las cuales pueden aproximarse a una familia de elipses $K_x(r) = c$.

Los elipses determinadas de esta forma se orientan con relación al sistema de coordenadas (figura 1) y se caracterizan por los parámetros q y γ , determinados anteriormente. Se puede mostrar que el parámetro de anisotropía q obtenido por la fórmula (7) puede ser determinado también por:

$$q = \frac{l_m}{l_p} \quad (8)$$

donde:

l_m y l_p - longitud de los semiejes mayor y menor de la elipse, respectivamente.

Los parámetros γ , α_{\max} y α_{\min} , los cuales caracterizan la anisotropía, pueden ser obtenidos con ayuda de la función de correlación experimental $K_x^l(r)$, calculada para diferentes direcciones l , con un desplazamiento angular entre ellos constante. Para obtener una determinación fiable es necesario considerar no menos de 4 direcciones. La figura 1 ilustra la necesidad de tal exigencia, cuando el valor del ángulo γ se diferencia notablemente de 0° ó de 90° es insuficiente para revelar la anisotropía en las dos direcciones que coincidan con los ejes OX y OY.

La especificidad de la información inicial en la cantera Moa es tal que la función de correlación puede determinarse fiablemente en dos direcciones solamente, las que coinciden con la dirección de perforación de las excavaciones. Para las direcciones que se encuentran desplazadas con relación a la dirección de perforación, la fiabilidad de la determinación de la función de correlación disminuye sustancialmente a causa de la disminución en progresión aritmética del volumen de los datos en cada dirección en particular.

Para el yacimiento Moa se exigen métodos especiales de cálculo para determinar los parámetros de la anisotropía,

α_{\max} y α_{\min} - parámetros de convergencia a cero de la función de correlación $K_x(\bar{r})$ en la dirección de la variabilidad máxima y mínima respectivamente.

sin embargo, para el caso en que $\gamma \approx 0^\circ$ ó $\gamma \approx 90^\circ$, la función de correlación calculada en las direcciones de los ejes de coordenadas permite revelar el fenómeno de la anisotropía.

En este trabajo, para la valoración cualitativa de este fenómeno se utilizan los resultados de la determinación de la función de correlación en la dirección de los ejes OX y OY y de la función de correlación equivalente, obtenida por la vía del promedio de los valores de estas funciones. La función de correlación equivalente corresponde al modelo anisotrópico de la variabilidad, la cual en forma exponencial tiene la forma siguiente:

$$K_x(r) = D_x \text{Exp}(-\alpha X^2 + Y^2) \quad (9)$$

El modelo de la variabilidad para el yacimiento Moa es bidimensional, lo que tiene influencia en el método de obtención de la función de correlación para diferentes direcciones. Habitualmente la función de correlación se determina por la siguiente fórmula, la que aplicada para la valoración de la variabilidad en los modelos unidimensionales será:

$$K_x^l(r) = \frac{1}{n-k} \sum_{i=1}^{n-k} \bar{X}_i \cdot \bar{X}_{i+k} \quad (10)$$

donde:

$\tau = Kh$ - desplazamiento absoluto

K - desplazamiento relativo ($K = 0,1,2,3,\dots$)

h - paso de la red de exploración en la dirección analizada

$(i=1,2,\dots,n)$ - datos iniciales centrados que corresponden a n excavaciones.

No obstante, no es correcta la aplicación de esta fórmula a los bloques mineros del yacimiento Moa, ya que no considera el carácter bidimensional de la variabilidad, lo que puede conducir a un gran error. Además, debido a los pocos valores de n ($n=9$), incluso la determinación formal de la función de correlación por esta fórmula no puede ejecutarse debido al pequeño volumen de elecciones. [3]

La determinación de la función de correlación $K_x^l(r)$ para el modelo bidimensional de la variabilidad en la dirección l debe ejecutarse por la fórmula:

$$K_x^l(r) = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{n-k} \bar{X}_{i+k}^{(j)} \cdot \bar{X}_i^{(j)}}{\sum_{i=1}^m n_i - mk} \quad (11)$$

donde:

m - cantidad de realizaciones que se tienen en la dirección l .

n_i - cantidad de observaciones en i realizaciones.

$\bar{X}_j^{(i)}$ - desviación del valor del componente X de la tendencia, correspondiente a j observaciones en i realizaciones en el punto correspondiente.

La utilización de la fórmula indicada es, no solamente correcta desde el punto de vista del modelo bidimensional de la variabilidad, sino también fiable, por cuanto permite asegurar la exactitud de la determinación $K_x^l(r)$ prácticamente igual que para una realización, que contiene $\sum_{i=1}^m N_i$ puntos.

Aplicado al yacimiento Moa, la fórmula (9) toma la siguiente forma:

$$K_x^l(r) = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{n-k} \bar{X}_{i+k} \cdot \bar{X}_i}{n(n-k)} \quad (12)$$

En ella habitualmente $n = 9$ y el valor K puede encontrarse en el rango $0 \leq K \leq 6$ que garantiza una alta fiabilidad de valores obtenidos de la función de correlación $K_x^l(r)$.

$$K_x^l(0) = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \bar{X}_{ij}}{n^2} D_x \quad (13)$$

No es difícil ver que el valor $K_x^l(0)$ es la dispersión de los valores del componente X en el bloque analizado y a causa de esto la dispersión no depende del orden de la sumatoria de la fórmula (13).

Los métodos de determinación de la función de correlación bidimensional analizados fueron aplicados para la investigación de diferentes sectores y bloques del yacimiento Moa (sector Atlántico, bloques C-22, C-23; sector Yamagüey, bloques I-20, I-21; Zona Sur, bloques J-19, J-20, sector Pronóstico, bloques B-11, B-12; Zona B, bloques L-15, L-16).

Los sectores elegidos reflejan completa y suficiente las particularidades de la variabilidad natural del yacimiento.

En las tablas 1 y 2 se muestran los resultados de la determinación de los valores medios (M_x), de la dispersión (D_x) y de las funciones de correlación $K_x(r)_1$, $K_x(r)_2$, y $K_x(r)$ para la potencia y contenido de níquel en el bloque C-22 del sector Atlántico; los valores de la función de correlación $K_x(r)_1$ y $K_x(r)_2$ calculados en la dirección de perforación de las excavaciones (correspondientes a los ejes OX y OY) y

la función de correlación obtenida por la vía de la promediación de $K_x(r)_1$ y $K_x(r)_2$.

Como argumento (τ) de las funciones de correlación se toman los valores enteros y en calidad de unidad de desplazamiento espacial se toma el paso de la red de exploración de explotación del yacimiento Moa (33,33 m). En las tablas 1 y 2 aparecen además los valores correspondientes a los parámetros de convergencia de la función de correlación α_1 , α_2 , y α , determinados por el método de los mínimos cuadrados, para los valores positivos de la función de correlación ρ_1 , ρ_2 , y ρ_3 , determinados por la fórmula:

$$\rho = \frac{3h}{\alpha} \quad (14)$$

TABLA 1. Índice de la variabilidad espacial de la potencia del bloque menífero en el yacimiento Moa

	$K_x(r)_1$	$K_x(r)_2$	$K_x(r)$	$M_x = 9,27$
0	1,000	1,000	1,000	$D_x = 23,27$
1	0,480	0,606	0,643	$\alpha_1 = 0,79$
2	0,225	0,418	0,332	$\alpha_2 = 0,37$
3	0,018	0,389	0,203	$\alpha = 0,57$
4	-0,154	0,337	0,091	$\rho_1 = 126$
5	-0,318	0,148	-0,085	$\rho_2 = 271$
6	-0,562	0,061	-0,250	$\rho = 174$

TABLA 2. Índices de variabilidad espacial del contenido de níquel en el bloque menífero del yacimiento Moa

	$K_x(r)_1$	$K_x(r)_2$	$K_x(r)$	$M_x = 1,33$
0	1,000	1,000	1,000	$D_x = 0,021$
1	-0,020	0,406	0,193	$\alpha_1 = 2,21$
2	-0,035	0,376	0,170	$\alpha_2 = 0,42$
3	-0,027	0,255	0,141	$\alpha = 1,30$
4	-0,325	0,229	-0,048	$\rho_1 = 31$
5	0,057	0,255	0,153	$\rho_2 = 235$
6	0,042	0,316	0,179	$\rho = 77$

TABLA 3. Valores promediados de la variabilidad de la potencia a o largo de distintas direcciones en el bloque menífero del yacimiento Moa

	$K_x(r)_1$	$K_x(r)_2$	$K_x(r)$	$M_x = 9,28$
0	1,000	1,000	1,000	$D_x = 15,21$
1	0,325	0,113	0,219	$\alpha_1 = 0,79$
2	0,080	0,140	-0,034	$\alpha_2 = 0,37$
3	-0,2214	-0,143	-0,182	$\alpha = 0,57$
4	-0,412	0,046	-0,183	$\rho_1 = 86$
5	0,487	0,415	-0,451	$\rho_2 = 46$
6	0,610	-0,339	-0,475	$\rho = 66$

TABLA 4. Índices promediados de la variabilidad del contenido de níquel a lo largo de distintas direcciones en el bloque menífero del yacimiento Moa

	$K_x(r)_1$	$K_x(r)_2$	$K_x(r)$	$M_x = 1,33$
0	1,000	1,000	1,000	$D_x = 0,015$
1	-0,164	-0,036	-0,100	$\alpha_1 = 3,67$
2	-0,116	-0,039	-0,078	$\alpha_2 = 3,26$
3	-0,074	-0,236	-0,155	$\alpha = 3,47$
4	-0,410	-0,281	-0,356	$\rho_1 = 27$
5	0,100	-0,294	-0,097	$\rho_2 = 30$
6	-0,134	0,142	0,004	$\rho = 28$

Como puede apreciarse en las tablas, la función de correlación $K_x(r)_1$ disminuye mucho más rápido que la función de correlación $K_x(r)_2$.

Esto muestra la anisotropía, en particular, la variabilidad más intensa se observa en la dirección del eje OX. El valor medio de los parámetros α y del radio de correlación ρ para la potencia y el contenido de níquel se encuentra en el rango: $0,57 \leq \alpha \leq 1,30$; $77 \leq \rho \leq 174$ m, esto testimonia sobre la estabilidad suficientemente alta de los componentes en el bloque analizado.

Para comparar, en las tablas 3 y 4 se muestran los resultados promediados de los cálculos de la función de correlación $K_x(r)_1$, $K_x(r)_2$ y $K_x(r)$ para diferentes filas de excavaciones, obtenidas para la potencia y el contenido de níquel, de acuerdo con la fórmula (10). Se muestran además

los valores correspondientes de la media, la dispersión, el parámetro α y los radios de correlación ρ .

La comparación de los resultados muestra que la aplicación del método de determinación de la función de correlación, orientado al modelo unidimensional de la variabilidad para el caso bidimensional conduce a errores significativos. La función de correlación obtenida converge a cero rápidamente; tiene lugar una alteración de la anisotropía (coincide con el eje OY en las tablas 1 y 2 y con el eje OX en las tablas 3 y 4).

Las dispersiones y radios de correlación tienen valores sustanciales menores. Los parámetros de convergencia a cero de la función de correlación son significativamente mayores que para los modelos bidimensionales.

CONCLUSIONES

1. El método elaborado permite determinar la variabilidad casual espacial de la calidad de la mena en el yacimiento Moa.
2. Los resultados obtenidos testimonian la existencia de una correlación espacial suficiente entre los índices de la calidad de la mena en los bloques de extracción.
3. El modelo bidimensional de la componente casual de la variabilidad puede ser efectivamente utilizado en el proceso de planificación de los trabajos de extracción, por ejemplo, con ayuda de los métodos mostrados en [1].

REFERENCIAS

1. ABRAMOV, B.E. y otros: Planificación de los experimentos y pronóstico de la calidad de la materia prima mineral de las empresas mineras. Ed. Ciencia, Novosibirsk, 1979.
2. ASTAFIEV, Y.P. y otros: Computadoras y sistema de dirección en la rama minera en el extranjero. Ed. Niedra, 1989.
3. AZBEL, I.E. y H.S. BERNAL: "Modelo matemático de la componente casual de la variabilidad de la calidad de la mena en los bloques de extracción del yacimiento laterítico de Moa". Revista Minería y Geología. No.1, vol.11, 1994.
4. KOMAROV, I.S.: Elaboración y obtención de la información en las investigaciones ingeniero-geológicas. Ed. Niedra, Moscú, 1972.
5. MATEROV, Y.: Fundamentos de la geoestadística aplicada. Ed. Mir, Moscú, 1968.
6. RODIANOV, D.A. y otros: Manual de los métodos matemáticos en la geología. Ed. Niedra, Moscú, 1987.
7. ZARAIISKY V.N. y otros: Utilización racional y conservación de la corteza terrestre en las empresas minero-extractivas. Ed. Niedra, Moscú, 1987.



ecimetal

EMPRESA COMERCIAL PARA LA
INDUSTRIA METALURGICA Y
METAL-MECANICA

NOTA CIENTIFICA

ALTERACION HIDROTÉRMICA DEL CEMENTO PORTLAND

Ing. Antonio C. Rabilero Bouza

Centro Técnico de Desarrollo de Materiales de Construcción. Santiago de Cuba.

INTRODUCCION

RESUMEN: Se estudia experimentalmente el proceso de alteración hidrotérmica del cemento Portland endurecido de modo similar a investigaciones anteriores sobre rocas ultrabásicas de origen natural. Los resultados reportados demuestran plena concordancia con los procesos que ocurren en la naturaleza, observándose la preferente lixiviación de los componentes alcalinos, en general, y de la sílice respecto a la alúmina y el óxido férrico.

ABSTRACT: In this work has been studied the hydrothermal alteration of Portland cement in according with other experimental investigations about ultrabasic minerals. The results showed that hydrothermal process occurs like those in nature, with preferent lixiviation of alkaline compounds and ferric oxide.

En el ámbito de la geología, y en particular de la geoquímica, el estudio de los procesos de alteración hidrotérmica de diversas rocas, ha ocupado la atención de numerosos investigadores a lo largo de muchas décadas, resultando en nuestro caso de sumo interés la alteración de rocas básicas y ultrabásicas [1,4] y otras [5,10], por cuanto, tanto el cemento como el producto de su hidratación pueden ser considerados como rocas ultrabásicas constituidas por diversos minerales, fundamentalmente silicatos y aluminatos cálcicos, anhidros o hidratados según el caso, así como la presencia de portlandita en la roca de cemento endurecido como resultado de la hidratación.

Resulta evidente que, como consecuencia de la actividad industrial humana, la producción de cemento —en el orden de 10^9 toneladas por año— ha dado lugar al surgimiento en la superficie terrestre de una nueva roca artificial que de una forma u otra ha de participar e influir en los procesos de transformación geológica que ocurren constantemente en relación con los suelos.

METODO EXPERIMENTAL

Sobre la base de los trabajos realizados por Pedro [5,6,7], dedicados al estudio de la alteración hidrotérmica de rocas ultrabásicas, y empleando idéntico método experimental, se procedió a investigar el proceso equivalente en pastas puras, endurecidas hasta 28 días, de cemento Portland tipo P-350, empleando para ello un equipo Soxhlet de condensación con balón de 2 000 ml de capacidad, conteniendo 1 200 ml de agua.

El cemento Portland empleado (sólo clínker y yeso) muestra un mayor contenido de alita (C_3S) que de belita (C_2S) y un grado de finura acostumbrado para este tipo de cemento.

TABLA 1. Composición potencial (según Bogue) y características físicas principales del cemento portland P-350 utilizado.

C_3S ($3CaO \cdot SiO_2$)	46 %	Resistencia a compresión	
C_2S ($2CaO \cdot SiO_2$)	27	3 días	16,7 MPa
C_3A ($3CaO \cdot Al_2O_3$)	7	7 "	27,8
C_4AF ($4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$)	13	28 "	36,3
Superficie específica (Blaine)			2840 cm^2/g
Finura en el tamiz de 0,075 mm			87,33 %
Consistencia normal (adición de agua)			21,4 ml

Las muestras de cemento endurecidas (cubos de 1 cm de lado) eran depositadas dentro de un cartucho de celulosa y colocado éste en el condensador del equipo, en el cual se exponían al ataque del agua (previamente bidestilada) evaporada del balón, la cual de modo cíclico cubría la muestra y una vez alcanzado cierto nivel en el condensador descargaba por medio de un sifón hacia el balón, llevando consigo los materiales disueltos, los cuales con el tiempo precipitaban en el fonde