



17
Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Química

**INFLUENCIA DE LA DISTRIBUCION DEL
TAMAÑO DE PARTICULAS EN LA
RESISTENCIA A LA COMPRESION
DEL CEMENTO**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO QUIMICO**

P R E S E N T A N

**FRANCISCO ALONSO RIPOLL
ADRIAN FRANCOULON ALVAREZ**



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

CLAS TR11

ABO 1975

FECHA 1975

PRBC 11-17

8



QUIMICA

PRESIDENTE PROF.ING.QUIM.MANUEL DONDE GOROZPE

V O C A L PROF.ING.QUIM.OTHON ALES VALVERDE

SECRETARIO PROF.ING.QUIM.RODOLFO SAMANO IBAÑEZ

1er.SUPLENTE PROF.ING.QUIM.EMILIO BARRAGAN HDEZ.

2do.SUPLENTE PROF.ING.QUIM.HUMBERTO MALAGON ROMERO

Tema desarrollado en: CEMENTOS TOLTECA, S.A. DIV MIXCOAC

Sustentantes: FRANCISCO ALONSO RIPOLL

ADRIAN FRANCOULON ALVAREZ

Asesor: ING.QUIM.MANUEL DONDE GOROZPE

Supervisor Técnico: ING.QUIM.JORGE M. VILLASEÑOR

Presentación :

Al iniciar este estudio nuestra intención era la de realizar un trabajo que rindiera frutos dentro de la Industria del Cemento, para lo cual seleccionamos un tema en el cual no existen muchos trabajos de investigación, pero que tiene gran importancia en la calidad de los cementos producidos.

No fué posible realizar un estudio más profundo debido a las limitaciones económicas y de tiempo en las que se efectuó, pero consideramos que es un paso en la investigación de partículas finas en el cemento en México, que puede ser continuado y traducirse en beneficios en la calidad del cemento producido.

Nos felicitamos por haber contado con la supervisión del Ing. Manuel Dondé G. que nos guió e hizo sus observaciones sabiamente, por haber conocido a personas tan valiosas dentro de la Industria Cementera como el Ing. Daniel Bravo Massó y el Ing. Jorge M. Villaseñor M. que confiaron en nosotros al facilitarnos el acceso a los laboratorios de Cementos Tolteca S.A., agradecemos la colaboración desinteresada del personal técnico de Cementos Tolteca, S.A.

Muy especialmente a la Srta. Luz Ma. Rodríguez que mecanografió este trabajo varias veces con rapidéz y eficiencia.

Tenemos un sentimiento muy especial hacia nuestros padres,

hermanos y amigos que nos ayudaron a finalizar esta tesis.

Y finalmente nos felicitamos por haber contado mutuamente en todo momento desde el inicio de nuestros estudios profesionales.

Francisco Alonso Ripoll

Adrián Francoulón Alvarez

Cap.	Descripción	
I	INTRODUCCION	1
I.1	DESARROLLO EXPERIMENTAL	3
II	MOLIENDA	10
II.1	GENERALIDADES	10
II.2	FUNCIONAMIENTO DE LOS MOLINOS DE ELEMENTOS MULTIPLES .	11
II.3	ESTUDIO DEL MOVIMIENTO DE LOS CUERPOS DE MOLTURACION .	13
II.4	CARACTERISTICAS DE LOS MOLINOS DE BOLAS	16
II.5	PRINCIPALES TIPOS DE MOLINOS	17
II.5.1	MOLINOS DE CIRCUITO ABIERTO	17
II.5.2	MOLINOS DE CIRCUITO CERRADO	17
II.6	DESGASTE Y FORMA DE LOS CUERPOS DE MOLTURACION	19
II.7	DESGASTE Y FORMA DEL REVESTIMIENTO	19
II.8	POTENCIA DE LOS MOLINOS DE BOLAS	20
II.9	PRODUCCION DE LOS MOLINOS	21
II.10	CARACTERISTICAS DEL MOLINO	21
II.11	OPERACION DEL MOLINO DE BOLAS	22
III	DESCRIPCION DE PROCEDIMIENTOS	24
III.1	SELECCION DE LA MUESTRA Y MARCHA DE MOLIENDA	24
IV	METODOS DE OPERACION DE EQUIPO ANALITICO	28
IV.1	CONTADOR COULTER MODELO T. A.	28
IV.2	DETERMINACION DE LA FINURA DE UN CEMENTO CON - EL APARATO BLAINE	30
IV.2.1	OPERACION Y DESCRIPCION DEL EQUIPO	30
IV.3	MUESTREO DE LA DISTRIBUCION DE PARTICULAS POR - EL METODO COULTER	34

IV.3.1	PRINCIPIOS	34
IV.3.2	PREPARACION DEL ELECTROLITO	35
IV.3.3	PROCEDIMIENTO Y CALIBRACION	36
IV.3.4	PREPARACION DEL MUESTREADOR	37
IV.3.5	CALIBRACION Y AJUSTE	38
IV.4	DATOS OBTENIDOS	39
V	ANALISIS DE LOS DATOS OBTENIDOS DE LOS HISTOGRAMAS - DIFERENCIALES	41
V.1	GENERALIDADES	41
V.2	VERIFICACION DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS CON MUESTRAS DE 3555 cm ² /g, 4145 cm ² /g, 4533 cm ² /g y 5084 cm ² /g - USANDO ORIFICIO DE 140 MICRONES	42
V.3	ANALISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN CEMENTO CON - MISMA FINURA Y DIFERENTE DISTRIBUCION DE PARTICULAS ..	43
V.4	CALCULOS DE PROPORCIONES EN LAS MEZCLAS	45
V.5	METODOS PARA OBTENCION DE MEZCLAS COMBINADAS	47
V.6	INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LAS MEZ- CLAS B ₁ , B ₂ , B ₃ Y B ₄	48
V.6.1	ANALISIS DE LAS CONCENTRACIONES DE PARTICULAS Y RESIS- TENCIAS OBTENIDAS A LAS 24 HORAS	48
V.6.2	ANALISIS DE LAS CONCENTRACIONES DE PARTICULAS Y RESIS- TENCIAS A LOS 28 DIAS	53
V.6.3	ANALISIS DE LAS CONCENTRACIONES DE PARTICULAS Y RESIS- TENCIAS A LOS 7 DIAS	58
VI	CONCLUSIONES	62

Graficas de distribución de partículas

En el proceso de manufactura de cemento, el tamaño de las partículas es un factor crítico en el control del proceso, evaluación de equipos y cualidades del producto final.

Una distribución adecuada de las materias primas molidas que formarán la alimentación del horno tiene una influencia importante en la calidad del clínquer obtenido y en la eficiencia de operación de un horno rotatorio de cemento.

La molienda del clínquer incrementa su valor como material cementante, y la finura es un factor muy importante en la velocidad de hidratación; debido a que la reacción entre agua y cemento se desarrolla solamente en la superficie de las partículas.

Muchos trabajos se han realizado en estos últimos años para mejorar las características de finura utilizando colectores de polvos, separadores de aire y molienda en circuito cerrado. Pero muy pocos trabajos de investigación se han aplicado precisamente al estudio o la medida del tamaño de partículas que se obtienen en el cemento.

Existen muchos factores que afectan la distribución de las partículas en el cemento, como la molturación del clínquer asociada no solamente con la composición química, sino también con la historia individual del cocimiento del clínquer, enfriamiento, almacenamiento y sistemas de molienda. El -

control de todos estos factores debe estar perfectamente -
constituido para tener una producción de calidad uniforme.
Está plenamente comprobado que la finura de un cemento tie-
ne una gran influencia en la resistencia mecánica física -
de los cementos a edades tempranas de endurecimiento.

En el presente trabajo al hablar de resistencia nos referi-
mos unicamente a la de compresión..

Aunque no ha sido bien determinada su influencia se ha ob-
servado que la resistencia del cemento aumenta en cierta -
proporción a medida que aumenta la finura del mismo.

Sin embargo, se ha observado que aún cementos que tienen -
la misma superficie específica medida en el permeabilíme-
tro de Blaine, esta llega a presentar diferencias muy sen-
sibles en el tiempo de fraguado y en la resistencia a la -
compresión a edades tempranas principalmente.

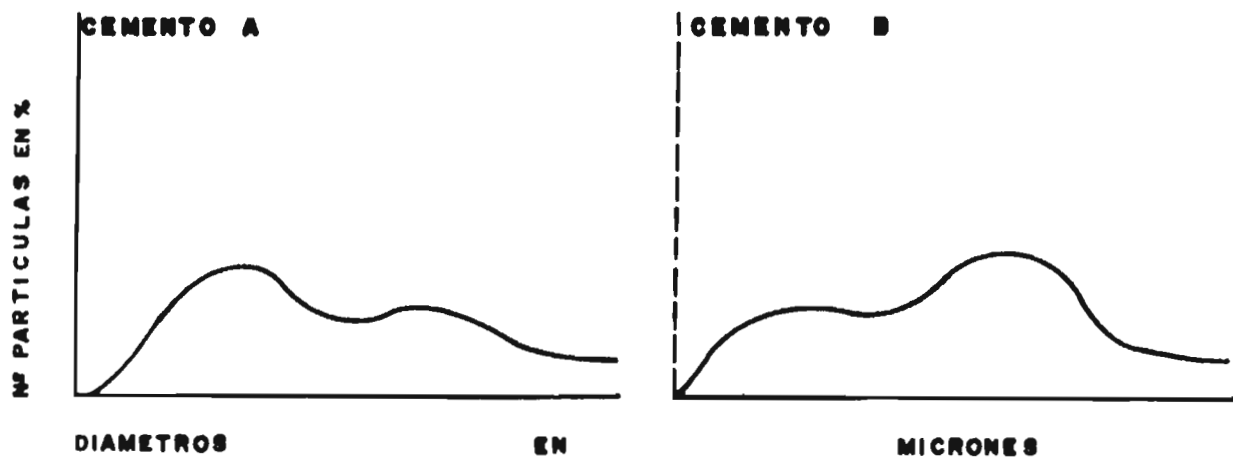
La observación de estos fenómenos hace suponer que un ce-
mento con una superficie específica aceptable, no es garan-
tía real de que tendrá la misma resistencia mecánica, sino
que existen factores relacionados con la distribución del
tamaño de las partículas en el cemento.

A "grosso modo" se observa que pueden existir dos cementos
con la misma superficie específica pero que sus partículas
están distribuidas de la siguiente forma como se muestra -
en la Fig. I

Como se puede observar los dos cementos presentan la misma
superficie específica(4270 cm^2/g Blaine) pero la distribu

FIGURA 1.-

DISTRIBUCION DE PARTICULAS POR GRAMO DE CEMENTO 'A' O 'B' DE IGUAL SUPERFICIE ESPECIFICA.



ción de las partículas es totalmente diferente.

Estos cementos presentan una resistencia a la compresión -
de:

	Cemento A	Cemento B
1 día	<u>137 kg/cm²</u>	<u>126 kg/cm²</u>
7 días	<u>306 kg/cm²</u>	<u>293 kg/cm²</u>
28 días	<u>374 kg/cm²</u>	<u>404 kg/cm²</u>

En el presente trabajo se tratará de definir la relación -
que existe entre la distribución del tamaño de las partícu
las y su influencia en la resistencia a la compresión de -
los cementos.

Este aspecto reviste gran importancia en el comportamiento
de los cementos, principalmente en los de alta resistencia
rápida, en los que la superficie específica se eleva hasta
5500 cm²/g Blaine y en donde de acuerdo a las pruebas rea-
lizadas por Stejert y Ginsburg el incremento en la resis-
tencia a la compresión se estabiliza y decrece al ir au-
mentando el valor n del Blaine.

I.2 DESARROLLO EXPERIMENTAL.

Numerosas investigaciones y estudios se han realizado den-
tro del desarrollo de la composición granulométrica rela-
cionadas con su resistencia en diferentes clases de cemen-
tos.

Es generalmente conocido por todos el hecho de que el ce-
mento debe de ser finamente molido para obtener una resis-

tencia a la compresión alta en un tiempo de endurecimiento corto.

Sin embargo es difícil determinar el punto en el cual el material a moler tiene una finura aceptable o se encuentra "finamente molido".

Stejert y Ginsburg (Einfluz der Mahifeinheit auf die Eigenschaften des Zements, 1954) realizaron pruebas de resistencia en tres tipos de clinquer con composiciones mineralógicas diferentes y las sometieron a moliendas sucesivas sin adiciones de yeso.

Los resultados de una de las muestras se encuentran a continuación:

T A B L A I.1

Sup. Especifica cm ² /g	Resistencia kg/cm ²						
	días				meses		
	1	3	7	28	3	6	12
1883	31	259	390	553	520	521	685
2104	145	279	445	470	607	605	722
3000	147	337	480	570	667	666	721
3966	215	463	535	590	535	612	688
5100	277	400	478	536	570	597	740
5650	---	461	616	652	750	716	---
9000	---	464	509	607	716	723	---

De acuerdo a la tabla anterior es evidente que las resistencias aumentan a medida que aumenta la superficie específica y el tiempo o diferentes edades. Una observación importante obtenida de los resultados anteriores fué el hecho de que el incremento en la resistencia se estabilizaba y cesaba al llegar a superficies específicas de 5500 cm²/g.

Lo anterior fué examinado por Beke (Zement ver Mahlung in - gesclossenen Kreislauf, 1958) que investigó los cambios de las superficies específicas siguiendo un criterio basado en el estudio de partículas dentro de los límites de 0-10 micrones.

Observó que el 70% de las partículas entre 0-10 micrones se encontraban en las muestras de 9000 cm²/g y que solo el 45% de estas mismas partículas se encontraban en muestras de 5650 cm²/g. De lo anterior concluyó que las partículas menores a 10 micrones intervenían como un factor determinante en el desarrollo de altas resistencias.

Estableció también que las resistencias dominantes estaban en función de las partículas de 3-30 micrones y que por lo tanto estas podían explicar la naturaleza de la actividad de hidratación en los cementos.

Consideramos en este estudio que la superficie específica no es un factor básico y único como para explicar el desarrollo de resistencias, y sí que la composición granulométrica o distribución de partículas juega un papel mucho más importante en las resistencias obtenidas.

Diferentes autores con distintos puntos de vista han considerado los efectos producidos en las resistencias originados con diferente la composición granulométrica presenta diversos efectos en la resistencia y los términos relacionados con las edades tempranas y finales en que se obtienen estas resistencias no se encuentran claramente definidos.

Basándose en pruebas de laboratorio Grunder y Tabbak (Der Einfluz der Feinheit auf die Anfangs und Endfestigkeiten von PORTLAND Zement 1950) concluyeron que el molido fino solo afecta la resistencia a edades tempranas y no a la resistencia final del cemento.

Czemin (Über die Rolle der Feinstantaille im Portland Zement - 1954) utilizando el separador centrífugo de Wolf investigó la porción de partículas de 0-4 micrones, estableciendo que la eliminación de esta fracción reduce la resistencia a edades tempranas sin afectar la resistencia final.

Bomke (Kohle und Zement. Zement-Kalk-Gips, Sonderausgabe Nr. 6.100.) estableció que la porción de partículas entre 5-35 micrones era la más importante y ventajosa que habría que tomar en cuenta para evaluar la resistencia de los cementos. Además consideró que las porciones de partículas menores a un micron y aquellas mayores a 50 micrones no eran de gran utilidad.

Una de las investigaciones más importantes relacionada con el presente trabajo, fue realizada por B. Beke en el Instituto Central de Investigaciones para la Industria de los Materiales de la Construcción en Budapest.

Beke realizó dos tipos de pruebas. En la primera serie se analizaron 3 muestras de cemento con diferente composición mineralógica, estas fueron sometidas a moliendas sucesivas con grados de finura diferente relacionandolas al mismo tiempo con su composición granulométrica y su respectiva resistencia.

En su segunda serie de pruebas sustituyó parcialmente determi-

nadas fracciones de partículas y en algunos casos sustituyó completamente estas fracciones. En su lugar incluyó fracciones similares de vidrio en polvo. Las mezclas obtenidas fueron estudiadas y relacionadas respecto a sus resistencias desarrolladas.

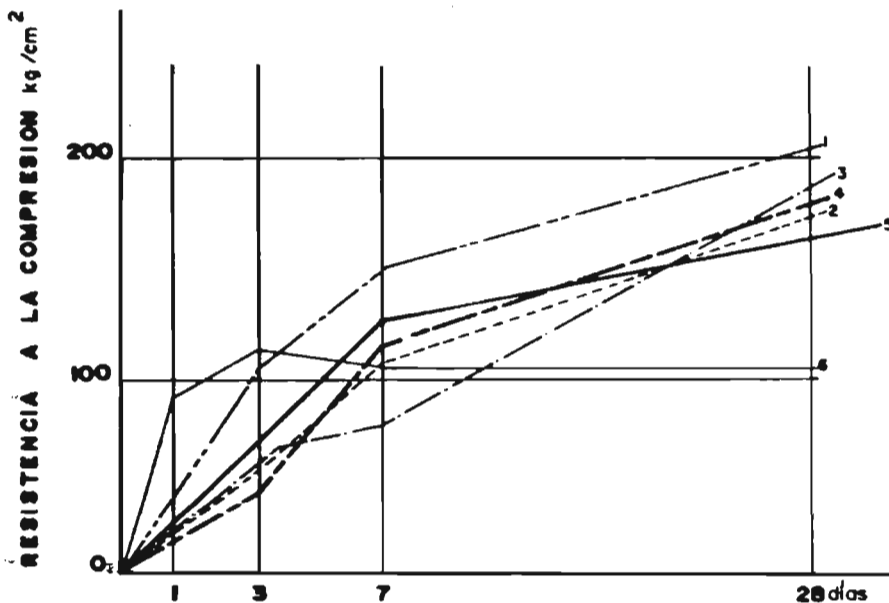
La tabla No. I.2 nos muestra los resultados obtenidos de la primera serie de pruebas. Se concluyó que existió después de un grado de molido alto una reducción en la resistencia y que el papel realizado por las diferentes fracciones de partículas en las resistencias obtenidas es imposible justificarlo debido a que se presentaron problemas de evaluación, incrementadas por la diversificación de los datos obtenidos como consecuencia de la aglomeración evidente durante la molienda.

Las pruebas realizadas con anterioridad a Beke, relacionadas con las resistencias producidas por determinadas fracciones de partículas de cemento, aisladas individualmente, no daban una explicación exacta sobre la función explícita de cada fracción individual. Beke, para eliminar las variaciones de porosidad que se presentaban en investigaciones anteriores decidió reemplazar las fracciones faltantes por polvos de vidrio, el cual era no-higroscópico, con mínima actividad de hidratación. En esta forma evitó los efectos de porosidad y absorción de humedad.

El objeto de su segunda serie de pruebas consistió en observar el papel que desempeñaban las fracciones de 0-3 micrones y las fracciones mayores a 63 micrones, en función de sus respecti--

FIGURA 2.-

**VARIACION EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESION
EN UN CEMENTO UTILIZANDO DIFERENTES
FRACCIONES DE PARTICULAS.**



1-Cemento muestra

2-Cemento con la fracción de tres micrones removida y reemplazada por fracciones semejantes de vidrio en polvo.

3-Cemento con la fracción de 3 micrones removida y solo la mitad reemplazadas por fracciones semejantes de vidrio en polvo.

4-Cemento con la fracción menor de 3 micrones removida.

5-Cemento con la fracción mayor a 63 micrones removida y reemplazada por fracciones semejantes de vidrio en polvo.

6-Únicamente la fracción 0-3 micrones.

vas resistencias.

Las fracciones de investigación fueron separadas del cemento - muestra y además se separaron las fracciones de polvo de vidrio que se iban a utilizar.

De sus investigaciones él obtuvo la siguiente gráfica (fig.2). De donde estableció que la fracción inferior a 3 micrones era esencial en resistencias a edades tempranas y no influía en la resistencia final. Así mismo indicó que la fracción superior a 63 micrones no influía al desarrollo de la resistencia y solo tenía características de material inerte de relleno.

El trabajo experimental que trataremos se basa en las investigaciones realizadas anteriormente y consideramos composiciones químicas y mineralógicas idénticas para cada una de las muestras analizadas basándonos en que la presencia de la fracción de 0-3.17 micrones es esencial para el desarrollo de la resistencia a edades tempranas y que la fracción entre 3.17 - 64.7 micrones es la de mayor utilidad para el desarrollo de la resistencias a diferentes edades de endurecimiento.

II MOLIENDA.

II.1 GENERALIDADES.

La molienda consiste en llevar la materia prima del estado granuloso al de polvo. En las fábricas de cemento Portland, esta operación se verifica por vía seca o por vía húmeda. En este trabajo las muestras utilizadas se nos proporcionaron utilizando el proceso por vía seca.

El proceso de molienda se utiliza ampliamente en ramas industriales de gran importancia.

En la industria química (materias plásticas, pigmentos, productos farmacéuticos, etc.)

En la industria alimenticia (harinas, azúcar).

En industrias tan importantes como son:

La Siderúrgica (tratamientos de minerales).

La Cerámica (preparación de las materias primas).

Fabricación de cemento.

La transformación más o menos acentuada del estado granuloso de una materia permite su mejor acondicionamiento para su posterior utilización, como alimentación de materias primas en un proceso o como producto final de utilización inmediata (fabricación de cemento a base de los materiales provenientes del horno).

Dependiendo del punto de vista de utilización posterior, el problema de la molienda puede enfocarse de dos maneras.

- 1).- Cuando se busca apartar una de las fases constitutivas de una materia heterogénea. Esto es, - por ejemplo, el principio del tratamiento de minerales, en el cual el grado de molienda depende del tamaño de las inclusiones que se quieren liberar.
- 2).- Cuando el objetivo es aumentar la actividad fisicoquímica de una materia sabiendo que la velocidad de reacción entre una materia sólida y otro compuesto depende de la superficie de contacto entre estas materias. Se sabe que el cemento puede fraguar y endurecerse. Solamente si la mayor parte de sus partículas es inferior a 100 micrones, en este caso debe buscarse transformar el máximo del trabajo de molienda en superficie de contacto del cemento.

El proceso exacto de rotura de los cuerpos (tal como se produce en un molino), no ha sido hasta hoy claramente explicado. Numerosas teorías se encuentran en discusión. Ninguna ha podido dar resultados completamente satisfactorios.

II.2 FUNCIONAMIENTO DE LOS MOLINOS DE ELEMENTOS MÚLTIPLES.

Los molinos de elementos múltiples y en particular los molinos de bolas son prácticamente los únicos molinos que se utilizan en la industria del cemento. Es posible aclarar la manera por -

la cual se verifica la molienda en el interior de estos aparatos mediante el resultado de dos factores que son:

El movimiento de los cuerpos de molturación provocado por la rotación del molino y el comportamiento de la materia bajo los efectos de las varias sollicitaciones que sufre.

Existen varias teorías sobre el movimiento de los cuerpos de molturación dentro de los molinos, a continuación se describen brevemente las principales.

La teoría de Davis propuesta al empezar el presente siglo, supone una retardación de los cuerpos de molturación entre el punto en donde se apartan de la trayectoria circular y el punto donde atacan la parábola.

Habría pues en esta zona una cierta contracción de la materia que probablemente no corresponde a la realidad (Teoría de la trayectoria parabólica).

La teoría de Von Steiger (1929) supone que las partículas empujadas por las que les siguen, alcanzan la cúspide de su trayectoria con la velocidad V es decir, igual a la que poseen cuando se apartan de la trayectoria circular. El cálculo así desarrollado enseña que en este caso habría una dilatación anormal de la materia (hipótesis de las trayectorias trascendentes).

La teoría de Joisel (1952) propone una teoría que concilia los resultados, que parecen paradójicos, de las dos teorías prece-

Este autor ha emitido la hipótesis de que hay conservación de volúmen de la materia hasta la cúspide de las trayectorias. El movimiento de las partículas se efectúa más lejos solamente bajo la acción de la gravedad.

El autor hace además las siguientes consideraciones:

- a).- Que la carga no se desliza a lo largo de la pared del molino.
- b).- Que la resistencia ofrecida por el aire es despreciable.
- c).- Que las trayectorias descendentes son independientes.
- d).- Que los cuerpos de molturación no rebotan en cuanto alcanzan el punto de caída.

II.3 ESTUDIO DEL MOVIMIENTO DE LOS CUERPOS DE MOLTURACION.

Un molino está esencialmente constituido por un cilindro de acero, protegido interiormente, encerrando en él los cuerpos de molturación y que gira alrededor de su eje longitudinal. Considerando tal cilindro, estudiamos el movimiento de un cuerpo de molturación considerado como válido:

- 1).- Que este movimiento tiene lugar en una sección perpendicular al eje del cilindro.
- 2).- Que los cuerpos de molturación no pueden ni rodar ni deslizarse a lo largo de la pared del molino.

(Fig. 3).

En estas condiciones el cuerpo de molienda se aparta de su trayectoria circular cuando.

$$mg \cos \alpha = m w^2 r$$

w = velocidad angular en radián/segundo.

$$\cos \alpha = \frac{r}{a} \quad \text{con} \quad a = \frac{g}{w^2}$$

además

$$V = r w = \sqrt{ga \cos \alpha}$$

El cuerpo de molturación describe una parábola cuya ecuación es:

$$y = x \operatorname{tg} \alpha - \frac{g x^2}{2 V^2 \cos^2 \alpha}$$

El punto de partida es tomado como origen de coordenadas.

La misma ecuación respecto al centro geométrico del molino es:

$$y = -\frac{x^2}{2a \cos^4 \alpha} - x \operatorname{tg}^3 \alpha + a \left(1 - \frac{\operatorname{tg}^2 \alpha}{2} \right)$$

El origen de la trayectoria se desplaza según el círculo:

$$r = a \cos \alpha$$

Cuyo diámetro $OA = a$, que es centrado en OY cuando varía α , lo que quiere decir, cuando w varía.

Se puede hacer la demostración que $\beta = 3 \alpha$. El lugar del punto "Q" en donde el cuerpo de molturación vuelve a su trayectoria circular está pues, constituido por un caracol de Pascal, conocido del círculo de centro "O" y de diámetro "a".

Los cuerpos de molturación son centrífugos cuando:

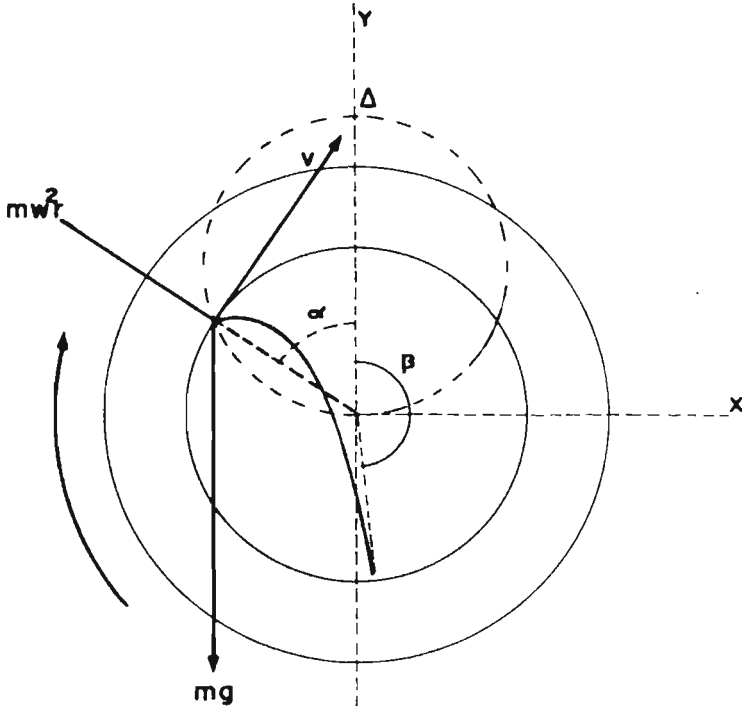
$$M w^2 r \geq mg \cos \alpha$$

de ahí

$$w = \frac{\sqrt{g}}{r} = \frac{\pi N}{30}$$

FIGURA 3-

MOVIMIETOS DE LOS CUERPOS DE MOLTURACION



(N = velocidad de rotación en r.p.m.).

de donde:

$$N_c = \frac{30 \sqrt{g}}{\pi} \times \frac{1}{\sqrt{r}} = \frac{29.9}{\sqrt{r}}$$

"r" se expresa en metros.

Para cada grado de llenado existe una velocidad óptima teórica que corresponde a la potencia máxima del molino.

Es así que para un grado de llenado de cuerpos de molturación (en volúmen aparente) de 0.40, la velocidad (en r.p.m.) que no se debe sobrepasar es aproximadamente 32/D.

"D" es el diámetro interior efectivo del molino expresado en metros.

Se entiende por diámetro efectivo el que se mide en el interior del forro protector.

En consecuencia, la eficiencia de un molino es máxima cuando su grado de llenado.

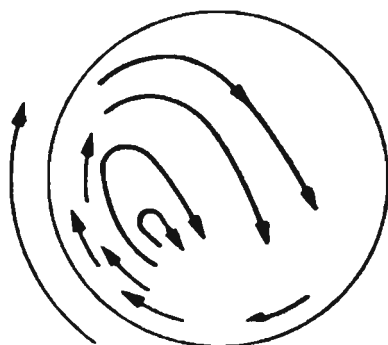
$$T = \frac{\text{Volúmen aparente de las bolas}}{\text{Volúmen interior del molino}}$$

Se aproxima a 0.40 y su velocidad "n" queda comprendida entre 30/D y velocidad de centrifugación (llamada velocidad crítica) Es importante darse cuenta que estas condiciones definen el funcionamiento óptimo de un molino de bolas funcionando en catarata. (Fig. 4.a).

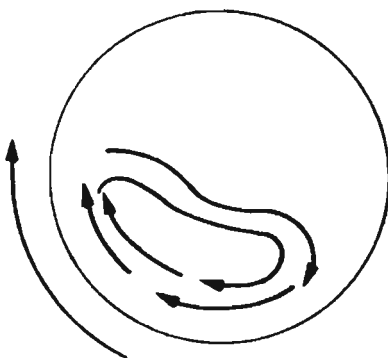
Este modo de funcionar conviene para el tratamiento de materias duras que permiten desmenuzarse, produciendo el máximo de superficie. Se concibe que si se disminuye "T" y "N" separada o simultáneamente, la forma de las trayectorias se alterará mien

FIGURA 4.-

FUNCIONAMIENTO DE UN MOLINO DE BOLAS



o- FUNCIONANDO EN CATARATA



h- FUNCIONANDO EN CASCADA

tras la carga empieza a resbalar a lo largo de la pared. Se encuentra, pues, en unas condiciones de funcionamiento en cascada. (Fig. 4.b).

Las bolas no operan entonces por impacto, pero si por fricción, se provoca, pues, la rotura de la materia por efecto de corte. Existe tan solo una única manera de hacer trabajar un molino de diámetro dado, tratando una materia tan dura tal como el clínquer. Existen, sin embargo una infinidad de posibles marchas - en cascada.

Este modo de funcionamiento, cuyo rendimiento es inferior conviene a veces en el tratamiento de ciertas materias. Este es el motivo por el cual se le adapta en ciertas industrias. Las condiciones de marcha son determinadas empíricamente en cada caso.

II.4 CARACTERISTICAS DE LOS MOLINOS DE BOLAS.

Los molinos de bolas están constituidos por un cilindro de chapa de acero gruesa, de diámetro en general superior a los 2 metros, cuya relación longitud/diámetro está comprendida entre 3 y 6. La chapa está protegida interiormente por un revestimiento constituido por placas de acero o de fundición fijadas por tornillos. Estas placas pueden presentar varias formas - (en escalón, onduladas, de tetón, de rodillos etc.).

repartición teóricamente continua del tamaño de los cuerpos de molidura es, en realidad, discontinua. El molino está dividido en varias cámaras por tabiques perforados; se compone - en general, de tres cámaras, cuyas longitudes son (siguiendo -

el sentido de circulación de la materia) aproximadamente $L/6$, $L/3$, $L/2$ (L representa la longitud del molino). Estas cámaras se cargan de bolas o mezcla de bolas de tamaño decreciente, - por ejemplo, 90-60 mm. en la primera cámara, 50-30 mm. en la - segunda, 25-15 mm. en la tercera. (Fig. 5).

El molino debe funcionar en las condiciones óptimas de grado de llenado y de velocidad de rotación definidos anteriormente. La cantidad de materia presente en cada instante en el molino debe ser tal que su volúmen aparente llene los huecos de las bolas, estando el molino en reposo, para un molino de clínquer - con bolas de acero, la relación óptima peso de clínquer/peso - de bolas es aproximadamente 0.15.

II.5 PRINCIPALES TIPOS DE MOLINOS.

II.5.1 Molinos de circuito abierto.

En este tipo de molino la materia entra por una extremidad y - sale por la otra después de haber sido molida. Cuando trata una materia seca, este molino puede ser ventilado de manera que se arrastren los granos más finos a medida que se formen. (Fig.6 A).

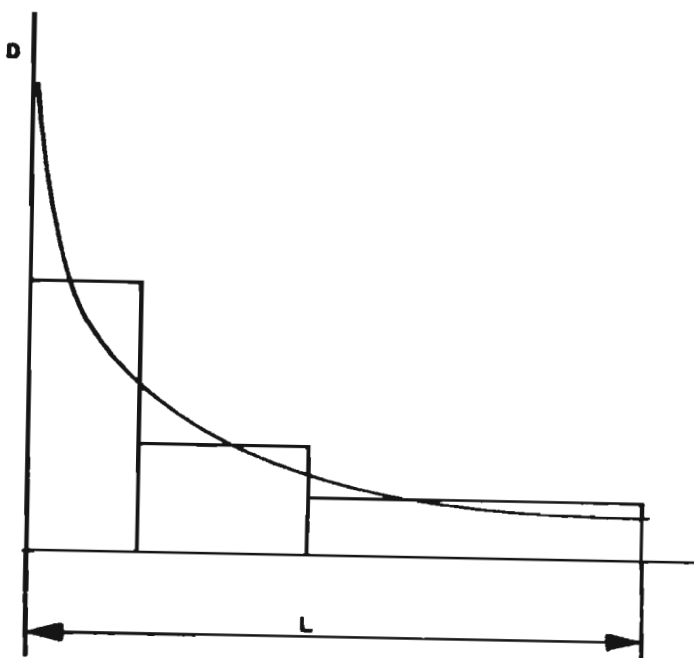
II.5.2 Molinos de circuito cerrado.

En estos molinos la materia entra por una extremidad y es tratado por el molino. La fracción superior a un tamaño dado es - separada del resto y enviada otra vez al interior del molino, a fin de pasar por un nuevo tratamiento.

Existen numerosos dispositivos a menudo muy ingeniosos. La fi-

FIGURA 5

**REPARTICION TEORICA DE MOLTURACION
EN LOS MOLINOS DE BOLAS.**



**D.- DIAMETRO DEL ELEMENTO DE MOLTURACION
EN MM.**

L.- LONGITUD DEL MOLINO EN M.

gura 6.b muestra el esquema más sencillo, mientras que la figura 6.c muestra el ejemplo de una instalación industrial en la que se puede seguir el camino de la materia.

Se han discutido mucho las ventajas comparadas de estos dos tipos de molino; sin poder apreciar, la mayoría de las veces, la superioridad del uno con respecto al otro.

La experiencia de numerosas instalaciones conduce a las siguientes conclusiones:

La molienda en circuito cerrado no es superior al circuito -- abierto cuando se trata de moler a una finura media (por ejemplo 3,000 $\mu\text{m}^2/\text{g}$ Blaine) una materia dura, homogénea y de naturaleza constante.

La molienda en circuito cerrado es más ventajosa cuando se trata de moler a una finura más elevada una materia blanda, heterogénea o variable.

Los riesgos de aglomeración son efectivamente mayores en este caso y el separador juega al mismo tiempo, el papel de desaglomerante permitiendo limitar estos efectos.

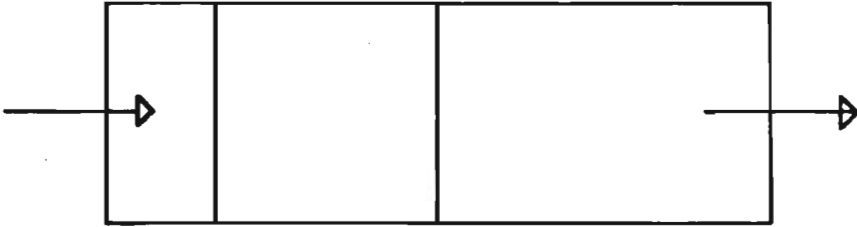
Regulariza el funcionamiento de la instalación, absorbiendo -- las eventuales variaciones de molturabilidad de la materia.

El molino en circuito cerrado provoca, por el hecho mismo de -- la circulación de la materia, un enfriamiento particularmente apreciado en el caso de molienda de cemento (disminución de -- los riesgos de fraguado falso).

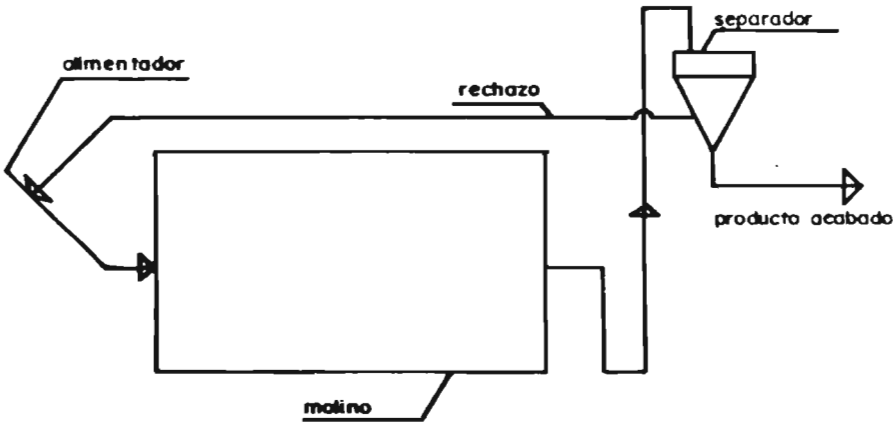
Los molinos pueden actuar al mismo tiempo, como secadores (caso del crudo). Entonces son barridos por una corriente de gas

**FIGURA 6.-
PRINCIPALES TIPOS DE MOLINOS**

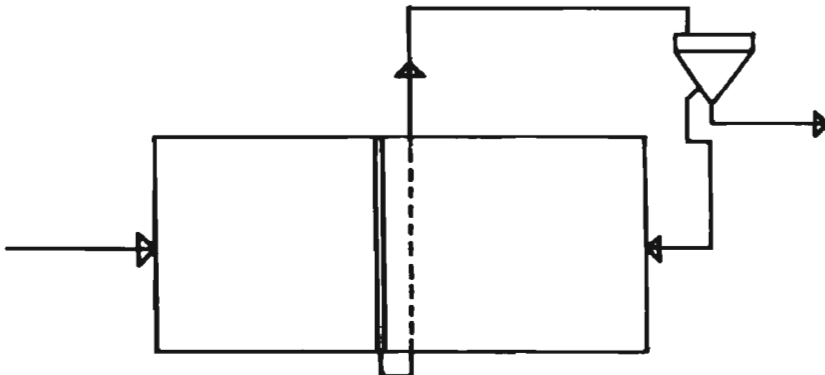
6a.- MOLINO FUNCIONANDO EN CIRCUITO ABIERTO



6b.- MOLINOS FUNCIONANDO EN CIRCUITO CERRADO



6c.-



caliente, que proviene ya sea del horno o de un hogar auxiliar.

II.6 DESGASTE Y FORMA DE LOS CUERPOS DE MOLTURACION.

El desgaste de los cuerpos de molienda que por ejemplo tratan clinquer, alcanzaba antaño 1/1000 de lamasa del producto molido, habiendo disminuido considerablemente desde la aparición de nuevas aleaciones (aceros al cromo por ejemplo).

A pesar de su elevado precio, los cuerpos de molturación actuales presentan un interés considerable, porque permiten mantener la permanencia de la carga durante períodos más largos y aseguran por este nuevo hecho, una mejor regularidad de funcionamiento del molino.

Los cuerpos de molturación utilizados en las fábricas de cemento son en general, esféricos. Algunos prefieren el empleo de pequeños cilindros (cylpebs) en la cámara de acabado. Sin embargo parece ser que la forma de los cuerpos de molturación no tiene gran influencia en la eficacia de la molienda.

II.7 DESGASTE Y FORMA DEL REVESTIMIENTO.

La aparición de placas de acero al manganeso en fundiciones especiales permitió aumentar sensiblemente la duración de los revestimientos reduciendo roturas y desgaste.

Las placas pueden presentar relieve de varias formas (rodillos, tetones). Estos relieves parecen eficaces cuando el molino está poco cargado. También puede darse a las placas un perfil longitudinal representado por la figura 7. La forma de este perfil

tiende a oponerse a la migración de las bolas mayores hacia la salida y a mantener la ley de la repartición de tamaño de los cuerpos de molturación fijado a la puesta en marcha.

II.8 POTENCIA DE LOS MOLINOS DE BOLAS.

La potencia teórica de un molino es evidentemente dada por:

$$\text{Potencia} = P \cdot l \cdot N$$

Siendo P = peso de bolas.

l = distancia del centro de gravedad de la carga al eje pasando por "O"

N = velocidad angular.

$$\text{Peso de bolas} = T \frac{\varnothing^2}{4} L p$$

Con T grado de carga en cuerpos de molturación,
 L dimensiones del molino, en metros
 p masa volumétrica aparente de los cuerpos de -
 molturación.

$$L = K_1 \varnothing \quad K_1, \text{ es función de } T, n \text{ de } N$$

$$N = \frac{K_2}{\sqrt{\varnothing}}$$

de donde:

$$\text{Potencia} = \frac{T \cdot p \cdot K_1 \cdot K_2}{4} \varnothing^{2.5} L = K \varnothing^{2.5} L$$

Para molinos industriales, se puede tomar en promedio:

$$\text{Potencia en (kw)} = 7.15 \varnothing^{2.5} L$$

La fórmula de Blanc que conduce a resultados muy semejantes puede expresarse bajo una forma análoga. Se escribe corrientemente:

$$\text{Potencia (kw)} = 0.73 CT \varnothing^{0.5}$$

con T = peso de las bolas en toneladas.

$C = g$ = para el clínquer.

II.9 PRODUCCION DE LOS MOLINOS.

Es bastante difícil preveer la producción exacta de un molino de bolas.

Puede adaptarse la fórmula siguiente que da un valor aproximado en función del coeficiente de aptitud a la rotura de la materia B , de las dimensiones del aparato \varnothing , L , de la diferencia ΔSp entre la superficie específica de salida y de entrada de la materia (la segunda puede despreciarse a veces respecto a la primera).

$$Q = 26 \times 10 \varnothing^{2.5} L B K / \Delta Sp.$$

con

Q = en t/h

\varnothing , L , en m

B en cm^2/erg

ΔSp en cm^2/g

k valor del rendimiento del molino definido por:

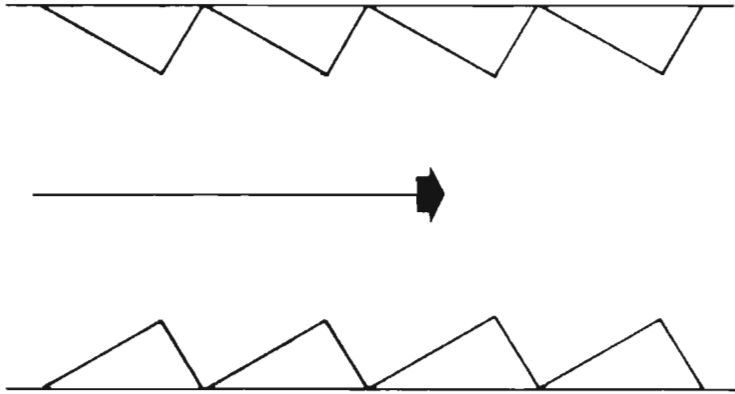
$$k = \frac{\text{Producción real}}{\text{Producción teórica}}$$

$k = 0.3$ para el clínquer

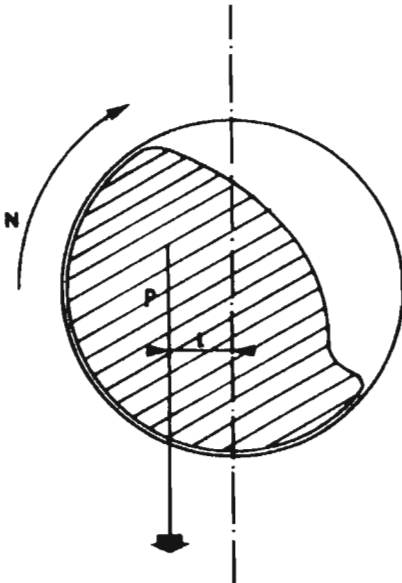
II.10 CARACTERISTICAS DEL MOLINO.

El molino de laboratorio en el que se efectuó la molienda es - un molino rotatorio de circuito abierto con las siguientes características:

**FIGURA 7.-
PERFIL LONGITUDINAL DE UN MOLINO DE BOLAS.**



**FIGURA 8.-
POTENCIA DE LOS MOLINOS DE BOLAS**



Diámetro: 0.457 m

Longitud: 0.457 m

Alimentación lateral por una abertura

Motor: 3/4 H.P.

Reductor de velocidad con relación 24.4:1

Velocidad de rotación del motor 1440 r.p.m.

Relación de catarinas 4:5

Velocidad del molino 47.2 r.p.m.

II.11 OPERACION DEL MOLINO DE BOLAS.

El molino se cargó con 25 kg de bolas de 22.22 mm y con 3.750 - kg de cemento, basandonos en que para un molino de clínquer con bolas de acero la relación óptima "peso de clínquer/peso de bolas" es aproximadamente 0.15.

Se pensó en obtener inicialmente la finura más alta con el objeto de poder conocer el funcionamiento del equipo y poder realizar cálculos de los tiempos de molienda necesarios para las demás finuras. Se puso en marcha el molino y se fueron tomando - las finuras respectivas de acuerdo a los tiempos de inicio y paro del molino. Después de largas horas de molienda para poder - obtener la finura de salida prefijada se presentó el fenómeno - de aglomeración y humidificación, es decir, aglomeración de los finos sobre las bolas y la camisa del molino por lo cual se desecho este procedimiento.

Para evitar los fenómenos que se presentaron anteriormente se - decidió seguir un nuevo procedimiento considerando y tomando en

cuenta lo siguiente:

- 1).- Hacer lo posible para disminuir el efecto de -
aglomeración al mínimo.
- 2).- Se deberían obtener moliendas con finuras ace
ntes y evitar tiempos innecesarios de molido
con la probabilidad de obtener muestras no uti
lizables.

Para la resolución del primer punto se consideró que como la aglomeración estaba ligada principalmente a las dimensiones - de los cuerpos de molturación, estos deberían ser sustituidos por bolas de menor tamaño.

El punto número dos es una consecuencia relacionada con la humedad presentada por el aumento de calor generado dentro del molino, por lo que se decidió efectuar paros progresivos del molino seguidos de limpieza de bolas y molino, efectuandose - así una ligera pérdida de muestra.

III. DESCRIPCION DE PROCEDIMIENTOS.

III.1 SELECCION DE LA MUESTRA:

Antes de proceder a la selección de la muestra, se fijaron 3 - parámetros de aceptación con el objeto de obtener una muestra representativa al cemento de tipo I.

El cemento seleccionado deberá cumplir con los tres requisitos en el orden fijado, para poder ser aceptado.

- 1° La muestra de cemento deberá tener una superficie específica máxima medida en el permeabilímetro de Blaine de $3500 \text{ cm}^2/\text{g} \pm 100$.
- 2° El contenido de SO_3 máximo en el cemento no deberá sobrepasar el indicado por las normas de calidad establecidas.
- 3° El contenido de cal libre presente debería de tener como máximo el menor valor posible, en este caso el 2%, para evitar la hidratación del cemento durante su almacenamiento.

El muestreo se realizó en las bombas de cemento a la salida de los molinos y se seleccionó una muestra. La primera muestra seleccionada presentó las siguientes características:

Finura	3372 cm^2/g Blaine.
SO_3	3.0%
Ca O libre	2.5%

El peso total de la muestra fué de 25 kg de los que se enviaron muestras a diferentes plantas para las pruebas correspon-

dientes, con el resto de la muestra se cargó el molino con --
muestras de 3.750 kg y se procedió a la molienda.

Durante la molienda se presentaron serios problemas como ante-
riormente se mencionó debido a que se trataron de hacer molien-
das continuas en las cuales, el cemento sufría hidratación y -
la eficiencia disminuía.

La hidratación del cemento se debía aparentemente a que el ca-
lor generado durante la molienda ayudaba a desprender agua del
yeso contenido en el cemento por lo cual este se humedecía.

Al presentarse este problema, se examinó la muestra y se obser-
vó que estaba un poco húmeda, lo cual contribuía a elevar la -
dificultad de molienda.

En vista de la imposibilidad de secar una cantidad tan grande
de cemento, se vió la necesidad de seleccionar otra muestra la
cual presentó las características siguientes:

Finura	3555cm ² /g Blaine.
SO ₃	3.0%
Ca O libre	2.0%

Peso total de la muestra 15 kg

En esta ocasión y actuando de acuerdo con la experiencia ante-
rior, se preparó una marcha de molienda para evitar que el ce-
mento se hidratara en caso de que el yeso despidiera humedad -
con el aumento de calor generado en el molino, debido al cho-
que de las bolas entre sí y con la pared del molino.

Esta marcha consistió en operar el molino un tiempo reducido,
detenerlo, destapar la boca para que escapara la humedad, lim--

par las bolas de posibles incrustaciones de cemento, cargar -
 el molino, y arrancarlo nuevamente, los intervalos de opera---
 ción se redujeron a "X" min. y "Y" min. de paro con limpieza -
 de bolas hasta alcanzar la finura deseada, la marcha para cada
 finura se presenta en la tabla III.1.

T A B L A III.1.

MARCHA DE MOLIENDA.

Finura Blaine cm ² /g.	Tiempo requerido en minutos.
3555	0
4145	10 rotación Limpieza de bolas y molino.
4533	28 10 Min. rotación Limpieza de bolas 10 Min. rotación Limpieza de bolas 8 Min. rotación Limpieza de bolas y molino.
5084	41 10 Min. rotación Limpieza de bolas 10 Min. rotación Limpieza de bolas 8 Min. rotación Limpieza de bolas 5 Min. rotación Limpieza de bolas 5 Min. rotación Limpieza de bolas 3 Min. rotación Limpieza de bolas y molino.

En la tabla anterior se presenta el tiempo total necesario para obtener los incrementos de finura deseados.

La superficie específica de 5500 cm^2/g no se pudo alcanzar con el molino en el que se trabajó y solo se obtuvieron las finuras indicadas.

Los rendimientos de las cargas por cada incremento de finura, tabla III.2 son las siguientes, haciendo notar que la mayor parte de la muestra se perdió en las operaciones de limpieza de las bolas entre carga y descarga.

T A B L A III.2

RENDIMIENTO DEL MOLINO POR INCREMENTO DE FINURA.

Finura (cm^2/g)	Peso Inicial (kg)	Peso Final (kg)	Eficiencia (%)	Tiempo Efectivo (min)
590	3.75	3.68	94.8	10
978	3.75	2.89	77.0	28
1529	3.75	2.49	66.4	41

VI. METODOS DE OPERACION DE EQUIPO ANALITICO.

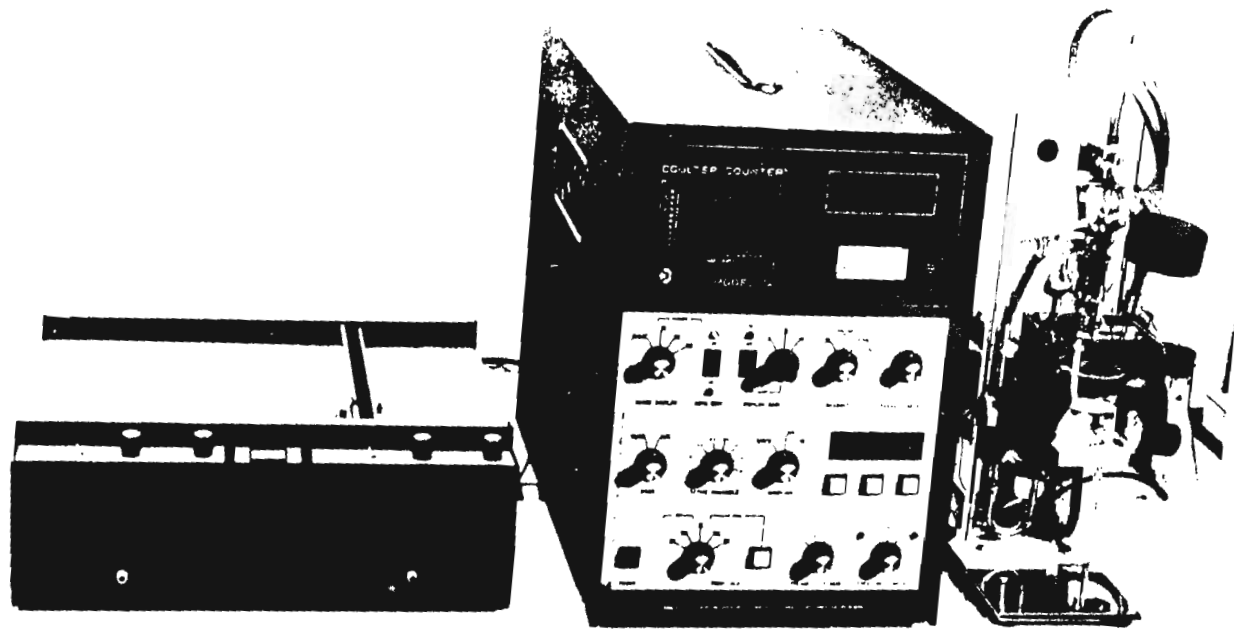
Se utilizaron basicamente dos tipos de equipos para la determinación de la distribución de tamaño y finura de partículas con el objeto de obtener no solo una indicación colectiva completa de los tamaños de partícula en el cemento, sino que además se llevo a cabo una medición completa de la distribución de partículas haciendo posible la determinación de la finura en el producto molido en forma más exacta. Se utilizó para la determinación de la superficie específica por permeabilidad el aparato Blaine y el equipo Coulter Modelo T.A. para la obtención de la distribución y conteo de partículas de cemento.

IV.1 CONTADOR COULTER MODELO T.A.

El modelo T.A. es un equipo electrónico que emplea 16 canales para el análisis del tamaño de partícula basandose en el principio Coulter para su operación. Esta unidad tiene la capacidad de analizar partículas en suspensión de una muestra determinada, (en este caso partículas de cemento) y presenta los resultados de conteo y distribución de partículas en cuestión de segundos (Fotografía 1).

Emplea un muestreador externo en donde se lleva a cabo el conteo y medición de cada una de las partículas en suspensión. Posteriormente los datos obtenidos son mandados al Modelo T.A. propiamente, en donde se llevan a cabo la selección, análisis, obtención y conversión de cada uno de los resultados, sobre distribución y conteo de las partículas en suspensión. Se obtienen

FOTOGRAFIA n° 1



lecturas visuales directas y gráficas representativas de cada muestra, por medio de una registradora automática (Fig. 9).

El principio en el que se basa el equipo para la medición y conteo de partículas es el siguiente:

Las partículas suspendidas en el electrolito son forzadas a pasar a través de un pequeño orificio usando vacío y aplicando un flujo de corriente eléctrica en la apertura por medio de dos electrodos. A medida que va pasando cada partícula a través del orificio se desplazará un volumen proporcional al suyo de electrolito, haciendo que la resistencia eléctrica en el flujo de corriente establecido varíe.

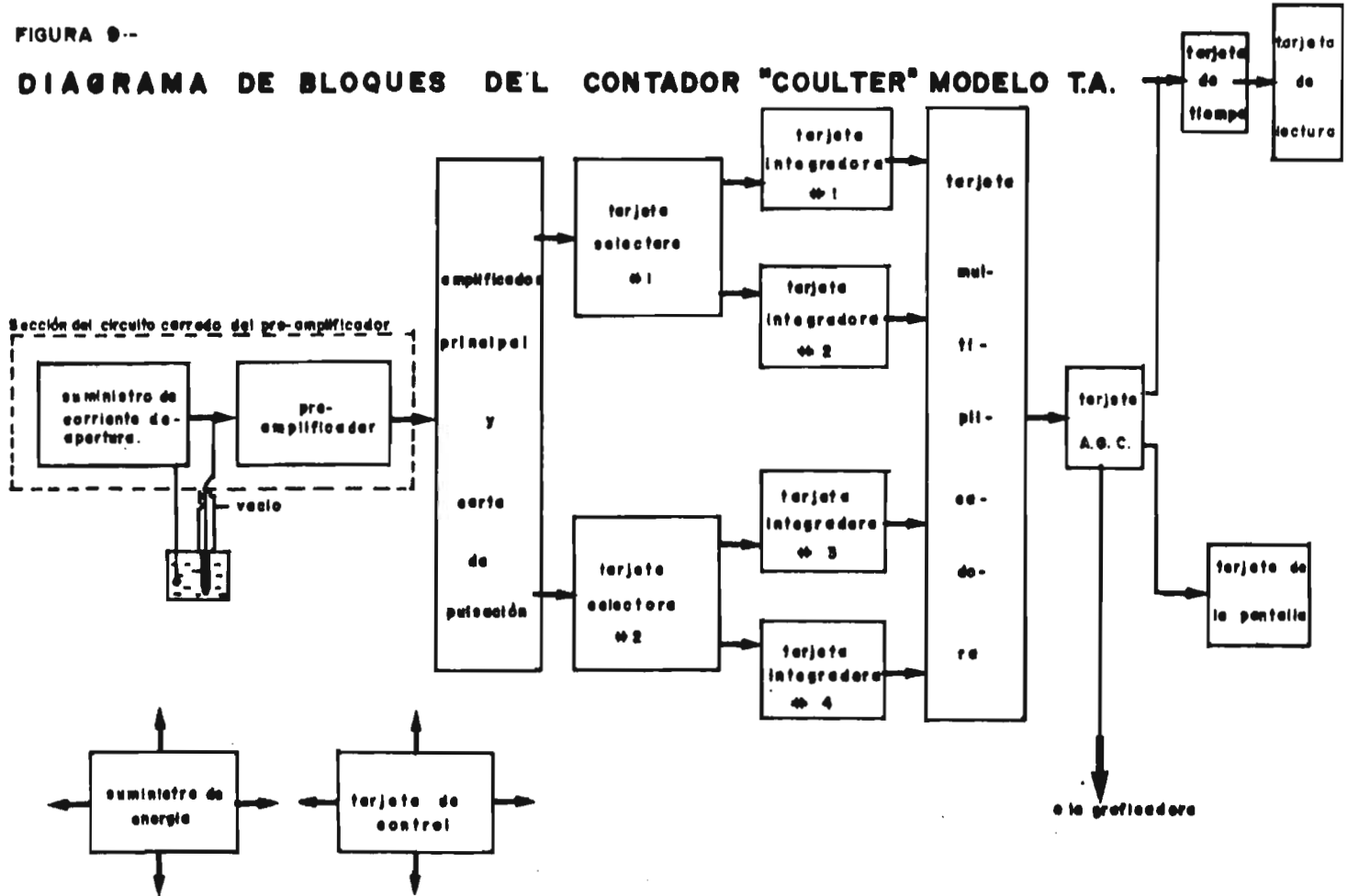
La magnitud de este cambio será directamente proporcional al tamaño volumétrico de la partícula y el número de cambios en un tiempo específico será proporcional al número de partículas en suspensión, en un volumen específico de muestra. De esta forma se obtiene la medición y conteo de las partículas en su forma inicial.

El proceso electrónico que se lleva a cabo es el siguiente:

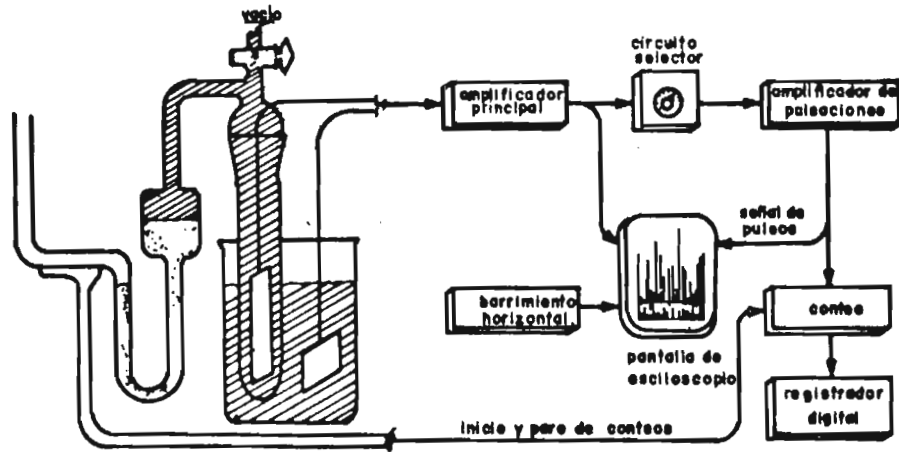
El Modelo T.A. suministra corriente a los dos electrodos de platino colocados en el muestreador externo. Uno de los electrodos se encuentra en la parte interior del tubo de apertura donde se localiza el orificio y por el cual pasan las partículas, el otro se encuentra sumergido en la suspensión. Cada pulso de corriente, generado por las variaciones del flujo eléctrico es representativo de cada partícula, contado, detectado, amplificado y alimentado a los diferentes circuitos selectores

FIGURA 9--

DIAGRAMA DE BLOQUES DEL CONTADOR "COULTER" MODELO T.A.



**FIGURA 10.-
DIAGRAMA DE BLOQUES SIMPLIFICADO**



en donde se efectúan las mediciones de tamaño de acuerdo a los niveles escogidos durante la calibración. Posteriormente los pulsos de las partículas medidas son enviados a tarjetas integradoras y conectadas a voltajes representativos del volumen de partículas en los 16 niveles de tamaño.

Estos voltajes integrados son alimentados a una tarjeta multiplicadora en donde son seleccionados uno por uno (canal por canal) para obtener datos diferenciales y contados uno por uno para así obtener los datos acumulativos. Toda la información anterior pasa através de otra tarjeta electrónica de acumulación y generación de datos, la cual ajusta y manda las señales al osciloscopio y a la registradora (Fig. 10)

IV.2 DETERMINACION DE LA FINURA POR MEDIO DEL APARATO BLAINE.

IV.2.1 Operación y descripción del equipo.

Las determinaciones usuales de la finura del cemento se expresan actualmente en función de su superficie específica medida en cm^2/g . Estas determinaciones se llevan a cabo usando el permeabilímetro de Blaine. El principio bajo el cual se basa este aparato es el siguiente:

La resistencia ofrecida al paso de una corriente de aire por una masa de polvo aumenta al aumentar la finura de dicho polvo, por lo que para determinar la finura se efectua la medición del tiempo de paso de un volumen determinado de aire através de cierta cantidad de polvo.

Para la obtención de resultados fidedignos es necesario preparar con el polvo una capa de altura bien definida y de sección fija, en la cual la porosidad sea constante, es decir se deberá mantener una relación de huecos respecto al volúmen total - constante.

El aparato "Blaine" de medición consiste de un cilindro medidor de capacidad bien establecida y rectificada, un placa tamiz con orificios, un émbolo bien ajustado al cilindro con una ranura fresada en uno de sus lados para la salida del aire desplazado y un reborde saliente que sirva de tope para limitar el volúmen del lecho de cemento después de comprimido en el cilindro.

Cuenta con un tubo medidor en forma de "U" con tres marcas en diferentes puntos y otra señal para fijar el grado de llenado con el líquido indicador, sobre dicho tubo y en su boca cónica esmerilada se ajusta herméticamente el cilindro medidor, el líquido manométrico ocupa parte de su longitud y en el otro extremo lleva un aspirador con llave de cierre (Fig. 11)

Para cementos de finura normal se utiliza la porosidad $e=0.505$, para cementos finos una porosidad mayor, $e=0.530$.

El peso necesario de cemento se calcula según las siguientes fórmulas:

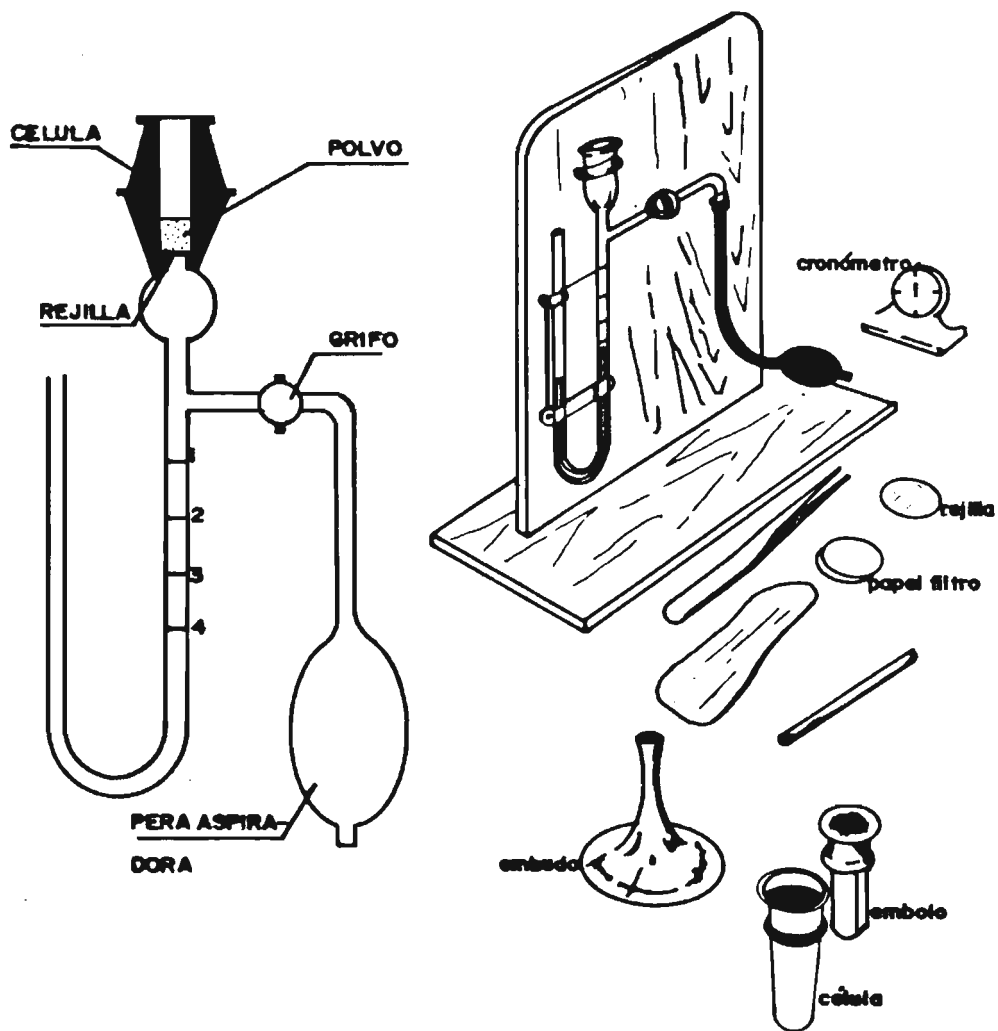
$$J = V \cdot (1-e) \text{ cm}^3.$$

$$G = d \cdot J = d \cdot V \cdot (1-e)g.$$

V = Volúmen del lecho de cemento cm^3 .

e = Porosidad 0.505/0.530

**FIGURA II-
APARATO DE BLAINE**



J = Volúmen que hay que llenar con cemento, cm^3 .

G = Peso del cemento, g.

d = Densidad del cemento (peso específico)

"V" En cada aparato por lo general esta fijado de antemano y se calibra al volúmen del lecho de cemento usando mercurio.

"d" Debe determinarse para cada cemento muestra con una precisión de ± 0.05 .

Esta determinación se efectúa con un picnómetro y aproximando dos cifras decimales.

El peso de cemento "G" se determina de acuerdo con la fórmula antes citada. En el cilindro medidor limpio se coloca la plaquita perforada en su fondo, poniendo encima de ella un disco de papel filtro de dimensiones exactamente ajustadas al cilindro y de igual calidad que el empleado para el calibrado. Sobre este fondo, así preparado se coloca el cemento golpeando ligeramente el cilindro para facilitar el llenado y lograr un ligero asiento del polvo.

Hay que procurar que no queden restos de cemento en la parte superior del cilindro medidor y que la superficie superior del cemento quede lo más plana y lisa posible.

A continuación se cubre el cemento con otro disco de papel filtro igual al anteriormente colocado sobre el fondo perforado. Generalmente se introduce el émbolo y se va comprimiendo con él lentamente hasta que el reborde saliente se apoye sobre su asiento en el cilindro.

Cuando no se logre llegar a esta posición por haber hecho la -

pesada a base de $e=0.505$, se repite el llenado con una pesada determinada a base de la porosidad $e=0.530$ (cemento fino). Si ni aun así se logra introducir el émbolo hasta su tope, hay -- que pensar en que o bien hay granos demasiado gruesos que se -- deben haber introducido en la ranura de salida del aire del ém-- bolo, o bien que las hojitas de papel filtro son demasiado gran-- des y están arqueadas o dobladas. Para comprobarlo se extrae -- el émbolo con cuidado haciendolo girar dentro del cilindro. Es-- to debe hacerse muy lentamente a fin de que el aire pueda ir -- entrando por la ranura del émbolo para llenar la cámara que la extracción del émbolo deja tras de sí en el cilindro.

Una vez adquirida la seguridad de que no ha quedado cemento so-- bre el disco de papel filtro, se monta el cilindro medidor lle-- no sobre el cono, que para lograr un cierre bien hermético se ha engrasado debidamente, la llave de la aspiración debe es-- tar abierta durante esta operación. Se tapa lentamente y con -- cuidado el cilindro medidor con un tapón de goma que cierre -- bien, luego se aspira el líquido del aparato hasta la marca su-- perior, se cierra la llave y se observa durante cierto tiempo si el nivel del líquido se mantiene constante, es decir, si el aparato cierra bien en todas sus partes, cuando todo está en -- orden se abre la llave y se quita con cuidado el tapón de goma del cilindro haciendolo girar para desprenderlo suavemente. Se aspira de nuevo el líquido hasta alcanzar la marca superior y se cierra la llave.

El líquido contenido en el tubo U empieza a bajar a medida que

T A B L A IV.2

Valores de la Porosidad del Cemento.

e	$(1-e)$	e^3
0.45	0.55	0.302
0.46	0.54	0.312
0.47	0.53	0.322
0.48	0.52	0.333
0.49	0.51	0.343
0.50	0.50	0.354
0.51	0.49	0.364
0.52	0.48	0.375
0.53	0.47	0.386
0.54	0.46	0.397
0.55	0.45	0.408
0.56	0.44	0.419
0.57	0.43	0.430
0.58	0.42	0.442

se lo permite el aire que va atravesando el lecho de cemento.- El tiempo invertido en su descenso por el menisco del líquido en pasar de la marca 2 a la marca 3 debe medirse con un cronómetro que pueda apreciar 1/10 de segundo. Se repite esta medición de 2 a 4 veces y se toma nota de la porosidad aplicada y de la temperatura.

Con auxilio de las muestras patrón que para el calibrado del aparato acompaña a este, se puede calcular la constante "K" del aparato siguiendo el método que se explica en las instrucciones que se incluyen en el mismo.

La superficie específica (Sp) se calcula según la fórmula.

$$Sp = \frac{K \cdot \sqrt{e^3} \cdot t}{d \cdot (1-e) \cdot \sqrt{n}} \text{ cm}^2/\text{g}.$$

La fracción $\frac{K \cdot \sqrt{e^3}}{d \cdot (1-e)}$ se mantiene constante.

Para cada porosidad, se mantiene constante el valor del calibrado del aparato y el peso específico. Designando esta constante por Ke se obtiene la siguiente fórmula fina simplificada:

$$Sp = Ke \cdot \frac{\sqrt{T}}{\sqrt{n}} \text{ cm}^2/\text{g}.$$

En la que T = el tiempo de paso en segundo; \sqrt{n} = un valor que se deduce de la tabla (IV.1).

IV.3 MUESTREO DE LA DISTRIBUCION DE PARTICULAS POR EL METODO COULTER.

IV.3.1 Principios:

El metodo Coulter consiste en dispersar las partículas en un electrolito y obligarlas a atravesar un pequeño orificio situa

T A B L A IV-1

Valor de la viscosidad del aire dependiendo de la temperatura.

Temperatura del Local °C	Densidad de Hg	n = viscosidad del aire según Poise	\sqrt{n}
16	13.56	0.0001800	0.01342
18	13.55	0.0001810	0.01345
20	13.55	0.0001819	0.01349
22	13.54	0.0001829	0.01353
23	13.54	0.0001834	0.01354
24	13.54	0.0001839	0.01356
26	13.53	0.0001849	0.01360
28	13.53	0.0001859	0.01363
30	13.52	0.0001869	0.01367
32	13.52	0.0001879	0.01371
34	13.51	0.0001888	0.01374

do entre dos electrodos.

El paso de cada partícula provoca una variación de la resistencia eléctrica, que es función de su volúmen. Los impulsos así registrados son amplificados y transmitidos al modelo T.A. que los mide y los cuenta.

IV.3.2 Preparación del Electrolito.

El electrolito utilizado en este caso fué alcohol metílico (CH_3OH), el cual no disuelve a las partículas de cemento y si efectúa una correcta suspensión de estas.

De acuerdo a experimentaciones anteriores se nos recomendó utilizar del 4-5% LiCl (seco) en metanol como electrolito, siendo el cloruro de litio necesario para evitar aglomeraciones de partículas y así actuar como agente dispersante.

La solución que se preparó presentó las siguientes características:

Metanol ($\text{CH}_3\text{-OH}$) ----- 7000 ml

Cloruro de Litio (Li CL) seco ----- 350 mg

Concentración de la solución:

5 mg de LiCl en 100 ml de solución.

Preparada la solución electrolítica se procedió a su filtración a través de un filtro Millipore Solvinert de 0.22 micrones con el objeto de separar las partículas mayores a este tamaño y así obtener una solución limpia y pura, adecuada para nuestro estudio (tabla IV.3).

T A B L A IV.3

Datos de Calibración y Prueba de la Solución Electrolítica

Diámetro Nominal Tubo de Apertura	Rango de Partícula	Resistencia Eléctrica en la Apertura Ω	Posición Switch de Comparación
(Micrones)	(Micrones)		
50	10 - 20	28.000 Ω (recomendado)	<u>2 MA</u> 8-40 K
.		27.000 Ω (Obtenido)	
140	20 - 40	13.000 Ω (recomendado)	<u>4 MA</u> 4-20 K
		18.800 Ω (Obtenido)	
	Conteo de fondo Acumulado	Tiempo en segundos	
50	13.000	26 seg/.25 c.c.	
140	26.000	26 seg/ 2 c.c.	

NOTA: Se observó que la distribución de las partículas al efectuar los conteos de fondo no presentaba variación en los canales de distribución por lo cual las consideramos despreciables. El conteo de fondo promedio fue de 15 00 partículas.

IV.3.3 Procedimiento y Calibración.

Para efectuar la calibración del equipo utilizamos partículas con diámetro conocido considerando que el rango total de conteo del tubo se encuentra entre el 2 y 40% del diámetro de la apertura.

Utilizamos dos tubos de apertura con diferente diámetro: Un tubo de 50 micrones empleado para el conteo de partículas con rango de 1 a 20 micrones aproximadamente y otro de 140 micrones para el conteo de partículas entre 2.80 y 56 micrones aproximadamente (Fig. 12).

Estos dos tubos se utilizan con el objeto de cubrir las distribuciones de partículas que consideramos de mayor importancia en las resistencias de los cementos a edades diferentes de endurecimiento.

Se trató de trabajar con el tubo de apertura de 30 micrones con el objeto de analizar partículas con diámetro menor al micrón. Esto no fué posible debido a que al utilizarlo se tenían problemas de obstrucción constante en el tubo de apertura.

Seleccionados los tubos apropiados con los cuales se realizó el análisis se calibró el aparato con partículas esféricas de diámetro conocido considerando que estas se encontraran entre el 5-20% del diámetro del orificio de apertura.

Una vez verificado el conteo de fondo se preparó la solución de calibración para los dos tubos. Para el tubo de 50 micrones utilizamos 2 mg de polen de 3.49 micrones y las suspendimos en

20 ml de solución electrolítica. Al utilizar el tubo de 140 micrones usamos la misma relación pero con polen de 12 micrones. Ya obtenidas las soluciones estandar se procedió a la calibración siguiente:

IV.3.4 Preparación del muestreador.

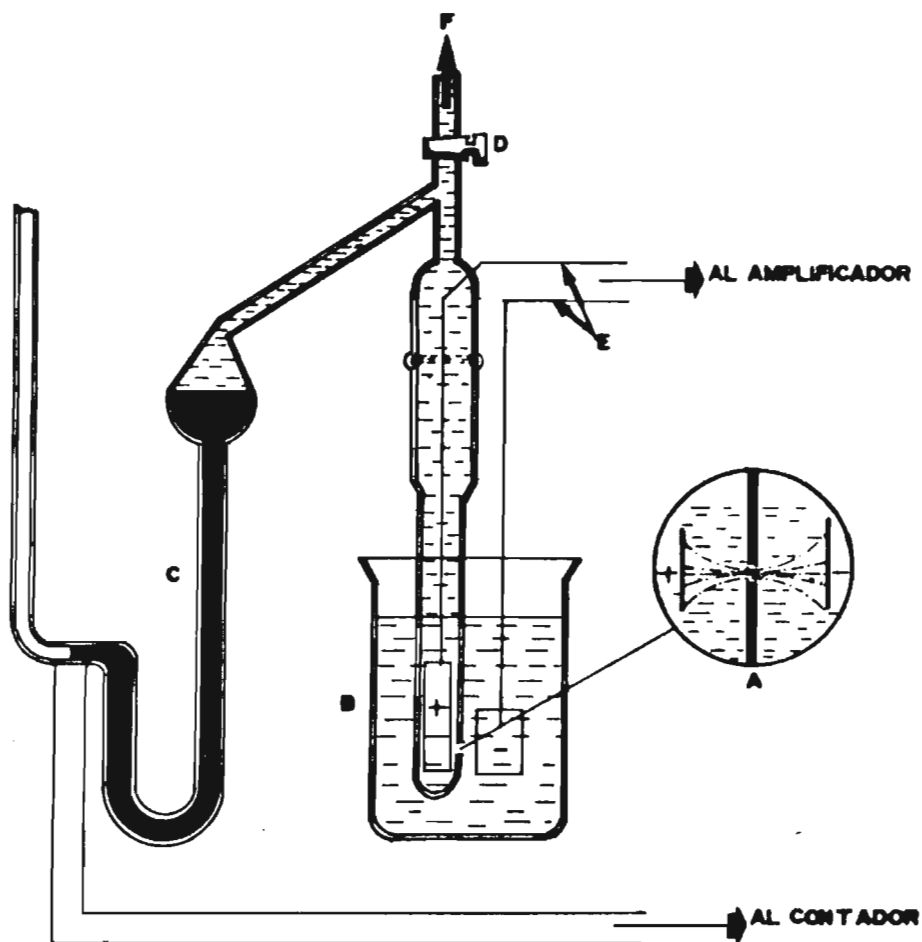
- 1.- Llenar con electrolito el matraz auxiliar.
- 2.- Rectificar que el tubo de apertura se encuentre perfectamente limpio.
- 3.- Colocar la muestra estandar o problema en la plataforma del muestreador. (tabla IV.4)
- 4.- Introducir el tubo de apertura y el electrodo externo en la suspensión estandar o problema.
- 5.- Ajustar el microscopio hasta que el orificio se observe con claridad a través de este.
- 6.- Cerrar válvula auxiliar.
- 7.- Abrir válvula de control.
- 8.- Introducir el agitador a la muestra y hacerlo funcionar a baja velocidad para evitar interferencias en el aparato.
- 9.- Dispersada la muestra con una dilución arbitraria derivada de la experimentación y ya abierta la válvula de control el sistema está listo para calibrarse.

FIGURA 12.-

TUBO

DE

APERTURA



A:- ORIFICIO DE APERTURA

B:- MUESTRA DE CEMENTO EN SUSPENSION.

C:- COLUMNA DE MERCURIO

D:- VALVULA DE CONTROL

E:- ELECTRODOS

F:- VACIO

IV.3.5 Calibración y ajuste.

- 1.- Colocar el interruptor (Scope Display) relacionado con el histograma en "Diferencial".
- 2.- Ajustar el interruptor de canales activos en el lugar en donde se elimine interferencias de acumulación. En nuestro caso eliminamos los primeros 2 canales en donde se originaba gran cantidad de interferencias debido a ruidos y variaciones de corriente.
- 3.- El ajuste del interruptor de amplificación (Pre-Amp Step Gain Switch) es arbitrario de acuerdo al sistema en consideración. Se colocó en la segunda posición para mayor flexibilidad en la calibración.
- 4.- Se fijó un tiempo determinado de 26 seg en el control de tiempo de muestreo.
- 5.- Iniciar acumulación de datos cerrando la válvula de control y accionando el interruptor de acumulación
- 6.- A medida que la acumulación ocurre ajustar la perilla de tamaño de calibración (Size Calibration Adjustment Knob) de tal forma que el pico de las partículas estandar usadas esté compartido equitativamente en los dos canales adyacentes.
- 7.- Colocar el botón de canal adyacente en los cana

les en que se elevarán y compartirán equitativa-
mente.

- 8.- Iniciar otra acumulación.
- 9.- Observando el medidor de calibración ajustar la perilla de calibración a una indicación de 0. Llegando en esta forma a establecer nuestro punto de referencia.
- 10- Los resultados anteriormente obtenidos se encuentran indicados en la hoja de datos de calibración (tabla IV.5)

Calibrado el equipo con los dos tubos de apertura considerados se efectuaron las diluciones necesarias para las muestras problemas de la siguiente forma:

15 mg muestra / 100 ml de solución electrolítica.

Las muestras problemas se rectificaban en cada determinación con el indicador de concentración del aparato sin presentarse variaciones de consideración.

Con cada muestra que se corría en el equipo se determinó al mismo tiempo la interferencia producida, la cual nos afectó ligeramente nuestros analisis y de aquí se decidió analizar cada una de las muestras por lo menos cinco veces con el objeto de obtener resultados gráficos representativos en la graficadora calibrada de antemano para cada tubo de apertura, los tipos de interferencia se muestran en la figura 13.

IV.4 DATOS OBTENIDOS:

Los datos obtenidos sobre el conteo y la distribución de par--

T A B L A IV.4

Características de las Partículas estandar utilizadas para la calibración del equipo Coulter.

Diámetro en Micrones	Material	Aplicación
12.00	Paper Mulberry Pollen	Tubo 140 micrones
3.49	Ragweed Pollen	Tubo 50 micrones

Antes de efectuar la calibración del equipo se corrieron varias suspensiones tipo con solución electrolítica filtrada, con el objeto de conocer y verificar el conteo de fondo.

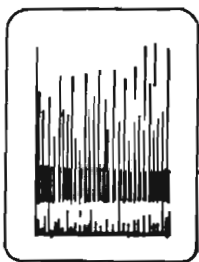
tículas que se presentan a continuación en las tablas correspondientes son los resultados de las determinaciones realizadas para todas las muestras de cemento antes señaladas.

Las muestras de cemento obtenidas directamente del molino se analizaron cubriendo unicamente el rango que va de 3.17 a 64 micrones principalmente con el objeto de contar con datos de distribución de partículas a los cuales podíamos llegar a aplicar las consideraciones obtenidas con los análisis de las distribuciones de partículas de las mezclas de cemento elaborado con diferentes muestras y así poder llegar a concluir y señalar que tipo de distribución de partícula se podía considerar como fundamental dependiendo de los resultados que se quisieran obtener. Es decir, relacionar su distribución de partículas de acuerdo a las resistencias deseadas y ver que efectos resultantes se obtendrían.

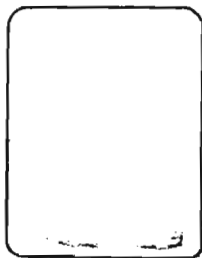
Es por esa razón que al elaborar las mezclas de cementos de las muestras principales obtenidas del molino analizamos dos rangos uno que cubria desde .794 a 25.4 micrones y el otro que cubria de 2.0 a 64 micrones abarcando un rango total que va desde .794 hasta 64 micrones en dos operaciones separadas.

FIGURA 13.-

DIFERENTES PULSACIONES EN EL OSCILOSCOPIO



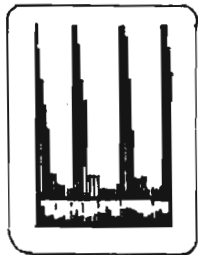
NORMAL



SWITCH DE CORRIENTE
DE APERTURA APAGA-
DO.



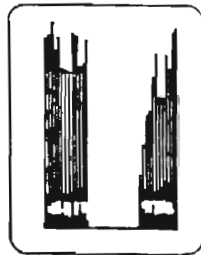
INTERFERENCIA CAUSA
DA CON LA MANO EN
EN EL MUESTREADOR.



GRUPOS AISLADOS DE PUL-
SOS CAUSADOS POR INTER-
FERENCIA ELECTRICA



INTERFERENCIA CAUSADA
POR BURBUJAS DE AIRE -
EN EL ORIFICIO



INTERFERENCIA CAU-
SADA POR AGRUPA-
MIENTOS DE PARTÍ-
CULAS EN EL ORIFICIO.

V. ANALISIS DE LOS DATOS OBTENIDOS DE LOS HISTOGRAMAS-DIFERENCIALES.

V.1 GENERALIDADES.

El procedimiento seguido una vez que se obtuvieron los histogramas y datos correspondientes a cada una de las muestras - fué el siguiente:

Primeramente se empezaron a analizar aquellas muestras con -- Blaine de 3555, 4145, 4533 y 5084 cm²/g las cuales se procesaron utilizando el equipo Coulter con un tubo de 140 micrones de diametro. Posteriormente se determinaron los conteos totales de cada muestra con el objeto de verificar que cada con-- teo entre sí no variara en $\pm 1\%$. Lo anterior no fué aplicable a todos los casos debido a que llegamos a obtener ligeras va-- riaciones de interferencias en el aparato por lo que nuestras lecturas se salieron de rango establecido y en esta forma -- los resultados a los que se llegaron no eran realmente los co-- rrespondientes a los datos necesarios para obtener una gráfi-- ca representativa de cada muestra analizada en el aparato.

Aplicamos el método de desviación estándar al analisis de con-- teo total de cada una de las muestras y dentro del rango obte-- nido, seleccionamos aquellos conteos que se encontraban den-- tro de los límites especificados.

Con los conteos totales seleccionados para cada muestra repe-- timos el método de desviación estándar por canal de concentra-- ción de partículas para así obtener finalmente los datos de -

T A B L A V.1

DESVIACION ESTANDAR DE LAS PARTICULAS DE 3.17 a 64.00 MICRONES

		SUPEFFICIE ESPECIFICA							
D		4180 cm ² /g	4269 cm ² /g	4270 cm ² /g	4271 cm ² /g				
I		CONTEO PROMEDIO							
C A		203053.50	187144.00	174520.50	157241.00				
A M		LIMITE SUPERIOR E INFERIOR DEL CONTEO							
E		+ 225665.50	+ 211140.00	+ 197515.30	+ 184156.00				
N		- 180441.50	- 163148.00	- 151525.35	- 146701.00				
A T		DESVIACION ESTANDAR POP. MANTAL							
R		% Promedio 1 ^a Máx/Mínimo		% Promedio 1 ^a Máx/Mínimo		% Promedio 1 ^a Máx/Mínimo		% Promedio 1 ^a Máx/Mínimo	
L O									
1	2.00	-0-	-0-	-0-	-0-	-0-	-0-	-0-	-0-
2	2.52	-0-	-0-	-0-	-0-	-0-	-0-	-0-	-0-
3	3.17	11.6666	16.0526 7.2806	11.6400	14.3850 9.8950	13.5857	16.5107 10.6667	11.1333	14.2500 9.7244
4	4.00	15.6500	21.6270 9.6730	15.3200	19.4900 11.1500	15.7571	19.2961 11.2131	13.1333	14.4444 11.3333
5	5.04	12.3500	14.6010 10.0980	11.0200	12.7770 9.2630	10.3428	12.4298 9.2558	10.2333	11.9231 9.7244
6	6.35	11.0833	12.9003 9.2663	10.2200	12.6420 7.7980	9.2285	11.1485 7.3085	8.0976	9.1818 7.5000
7	8.00	11.5333	11.9743 11.0923	10.9600	12.4540 9.4660	9.7285	11.1903 8.2665	9.0666	11.1818 7.9648
8	10.08	11.4000	13.3630 9.4370	10.8800	11.6970 10.0630	9.9571	10.6451 9.2691	10.3333	11.0613 9.5047
9	12.70	9.7500	12.7690 6.7310	11.2000	12.5340 9.8660	10.2714	11.5384 9.0044	11.4000	12.8000 10.0000
10	16.00	6.3833	10.3525 2.4143	9.5400	12.9100 6.1700	9.0571	11.3671 6.6944	11.3333	11.6666 11.0000
11	20.20	3.5166	6.4776 0.5556	6.8400	11.2890 2.3910	6.7857	9.7797 3.7917	9.3666	10.4131 9.3201
12	25.40	1.9133	3.9133 0.0867	3.8800	7.2800 0.4300	3.8428	6.2028 1.4828	6.4666	8.9166 4.0166
13	32.00	0.6833	1.2253 0.1413	1.9000	3.7550 0.0450	1.6428	3.6158 0.3302	3.0333	5.0333 0.9783
14	40.30	0.2000	0.3540 0.0460	0.5600	1.1460 0.0260	0.3285	0.9845 0.3275	1.2666	2.2666 0.2666
15	50.80	0.2000	0.3785 0.1785	0.0000	0.0000 0.0000	0.2571	0.7531 0.2387	0.6333	0.8633 0.4033
16	64.00	1.4000	2.6910 0.1090	0.0000	0.0000 0.0000	0.0000	0.0000 0.0000	0.8333	1.8713 0.2047

NOTA: Datos basados en las tablas e histogramas del Apéndice A.

T A B L A v.2

DESVIACION ESTANDAR DE LAS PARTICULAS DE 1.26 a 25.4 MICRONES

		SUPERFICIE ESPECIFICA							
		4180 cm ² /g		4269 cm ² /g		4270 cm ² /g		4261 cm ² /g	
		CONTEO PROMEDIO							
C A M A N T A R L O		325781.70		224148.00		309167.30		227408.10	
		LIMITE SUPERIOR E INFERIOR DEL CONTEO							
E N T A R L O		+ 342104.70 - 309458.70		+ 237512.00 - 210784.00		+ 326557.30 - 219777.30		+ 245608.10 - 209203.10	
		DESVIACION ESTANDAR POR CANAL							
		% Promedio 1% Máx/Mínimo		% Promedio 1% Máx/Mínimo		% Promedio 1% Máx/Mínimo		% Promedio 1% Máx/Mínimo	
1	.794	-0-	-0-	-0-	-0-	-0-	-0-	-0-	-0-
2	1.00	-0-	-0-	-0-	-0-	-0-	-0-	-0-	-0-
3	1.26	1.7000 2.3370 1.0630	3.8600 4.6270 3.0930	2.1333 2.5263 1.7403	4.2000 5.0150 3.1950				
4	1.39	7.2875 8.9575 5.6175	9.8600 11.2270 8.9430	7.7833 9.4233 6.1433	9.9857 11.4487 8.5277				
5	2.00	5.9500 7.2618 4.6382	8.9200 10.2070 7.6330	6.1500 7.3280 4.972	9.6450 11.3550 8.6795				
6	2.52	10.5375 12.8975 8.1775	9.9500 12.8970 7.0030	11.3166 12.6786 9.9546	10.7332 12.8520 5.9452				
7	3.17	11.7625 14.7055 8.8195	11.7800 14.8320 8.7280	11.8833 14.6933 9.0733	10.1815 12.8520 6.6795				
8	4.00	8.1375 10.2905 5.9845	11.1200 14.0757 8.1643	10.0000 11.7730 8.2270	12.8520 15.6980 5.6980				
9	5.04	8.4250 9.5910 7.2590	10.0000 10.8780 9.1220	9.0833 10.1403 8.0263	10.6358 12.9498 7.9498				
10	6.35	9.0500 10.2060 7.8940	9.7800 10.2770 9.2830	9.6333 10.6243 8.6423	12.0744 14.4634 10.4634				
11	8.00	9.4125 10.2155 8.6095	8.4200 9.4200 7.4200	10.0000 10.927 9.0730	11.9440 14.2960 10.2960				
12	10.08	9.0000 9.8020 8.1980	6.4200 8.1670 4.6730	9.2333 10.1203 8.3463	10.9921 12.1221 7.1221				
13	12.70	7.2875 8.6605 5.9145	3.9600 5.8370 2.0830	7.7166 9.2916 6.1416	9.5804 11.3624 4.3624				
14	16.00	5.6500 7.9330 3.3670	3.1200 5.0970 1.1430	5.3500 7.6660 3.0340	6.6775 8.5795 2.5795				
15	20.20	3.3875 5.6215 1.1535	2.1000 4.1000 0.1000	3.1 4.7910 1.4090	3.6722 4.2438 1.2438				
16	25.40	.9750 2.4490 .4990	0.88 2.0870 .3270	.7333 1.4590 .0073	2.6348 3.3498 1.3498				

NOTA: Datos basados en las tablas e histogramas del Apéndice A

relación que se muestran a continuación y con los cuales se efectuó el análisis tanto para muestras con tubo de apertura de 140 micrones, como de 50 micrones (tabla V.1), (tabla V.2).

V.2 VERIFICACION DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS CON MUESTRAS DE 3555 cm^2/g , 4145 cm^2/g , 4533 cm^2/g y 5084 cm^2/g USANDO ORIFICIO DE 140 MICRONES.

El análisis de estas muestras en el equipo Coulter tenía por objeto la observación del comportamiento de las distribuciones de partículas encontradas respecto a cada valor de superficie específica obtenida, así como también el de establecer los alcances e interrelaciones existentes entre el equipo y los resultados obtenidos con el permeabilímetro de Blaine.

No se trató de efectuar un estudio exhaustivo y profundo del análisis de los resultados obtenidos con estas muestras sino que solo se trataron en forma somera, con el objeto de obtener bases de interrelación como lo mencionamos anteriormente. En forma general y una vez obtenidas las medias aritméticas de las gráficas diferenciales con sus rangos de variación correspondientes se compararon entre sí los canales de concentración de partículas para cada una de las muestras llegandose a lo siguiente: tabla V.3

El número de partículas "pequeñas" aumentan su concentración en los canales inferiores al ir aumentando el grado de finura, en este caso desde 3555 cm^2/g hasta 5084 cm^2/g . Al mismo tiempo la concentración de partículas de mayor tamaño decrece en

T A B L A V.3

DISTRIBUCION PROMEDIO DE PARTICULAS DE 3.17 a 64 MICRONES

TUBO:	140 APERTURA. .			
MUESTRA:	3555 cm ² /g.	4145 cm ² /g.	4533 cm ² /g.	5084 cm ² /g.
CANAL:				
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	10,079.14	18,092.67	12,735.00	14,427.62
4	9,819.45	15,313.83	12,886.29	14,916.69
5	12,124.18	17,035.50	15,238.41	18,177.17
6	14,623.68	17,277.14	16,431.28	19,155.32
7	16,977.10	18,213.49	17,775.35	20,052.95
8	18,762.45	18,273.90	18,060.96	20,051.95
9	22,122.17	18,092.67	19,858.66	21,225.72
10	22,836.31	14,649.32	19,673.85	18,535.82
11	18,876.07	10,360.24	18,430.58	12,911.50
12	11,052.97	5,165.02	12,063.04	5,102.65
13	3,976.47	996.75	4,939.46	2,363.84
14	584.29	392.66	789.64	847.72
15	357.07	422.86	84.00	326.04
16	1,963.89	151.02	924.04	277.14

los canales superiores al ir aumentando la superficie específica. Las observaciones anteriores presuponen una clara relación entre la distribución de partículas y sus respectivas superficies específicas por lo que es justificable que las resistencias a edades tempranas sean mayores a medida que se aumenta la superficie específica. En las muestras en cuestión no realizamos análisis de resistencia debido a que nuestro objetivo principal es el de comparar resistencias a diferentes edades de endurecimiento utilizando superficies específicas constantes y distribución de partículas diferentes.

Específicamente, si analizamos graficamente los canales con diámetros que van desde 3.17 micrones hasta 10.08 micrones encontramos que las concentraciones de partículas siguen un comportamiento lógico, las concentraciones de partículas son mayores a medida que las finuras aumentan. Para los diámetros superiores a 10.08 micrones las muestras con superficie específica altas muestran menor concentración de partículas que los de menor finura.

V.3 ANALISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS CON CEMENTO -
CON MISMA FINURA Y DIFERENTE DISTRIBUCION DE PARTI-
CULAS.

V.3.1 Fundamento:

Para el analisis de las gráficas correspondientes a las muestras resultantes de las combinaciones de -

los Blaines primarios (3555, 4145, 4533 y 5084) se consideró la siguiente Tabla V.4 en donde se muestran las concentraciones respectivas a cada una de las mezclas.

V.3.2 Preparación de las muestras con diferente distribución de partículas y misma finura.

El número total de combinaciones con cuatro posibles componentes está dado por la fórmula:

$$C_n^m = \frac{n!}{m! (n-m)!}$$

donde para combinación de 4 elementos:

$$C_4^4 = \frac{4!}{4!} = 1$$

Utilizando conjuntos de 3 elementos:

$$C_4^3 = \frac{4!}{3! (4-3)!} = \frac{4}{3} = 4$$

Conjuntos de 2 elementos:

$$C_4^2 = \frac{4!}{2! (4-2)!} = \frac{24}{2} = 6$$

De esto se deduce que se pueden tener las siguientes combinaciones:

Denominandolas como M1, M2, M3 y M4 respectivamente.

De cuatro componentes:

M1, M2, M3 y M4.

De tres componentes:

M1, M2, M3.

M1, M2, M4.

M2, M3, M4.

T A B L A V.4

Concentración de cementos con diferente superficie específica en las mezclas efectuadas.

IDENTIFICACION DE LA MUESTRA	COMPONENTE EN GRAMOS				COMPONENTE EN %			
	SUPERFICIE ESPECIFICA							
	3555	4145	4533	5084	3555	4145	4533	5084
B-1	545.3			454.6	54.53			45.46
B-2	290.0		710.0		29.00		71.00	
B-3		729.7	270.2			72.97	27.02	
B-4		888.1		111.8		88.81		11.8

De dos componentes:

(M1, M2) (M2, M3) (M3, M4)
(M1, M3) (M2, M4) (M1, M4)

En este trabajo estudiaremos unicamente mezclas binarias, las mezclas formadas por los cementos (M1, M2) y (M3, M4) se rechazan puesto que no pueden cumplir con la finura especificada - por estar las dos componentes abajo y arriba de este valor, o sea que el número total de mezclas a preparar se reduce a 4.

V.4 CALCULOS DE PROPORCIONES EN LAS MEZCLAS.

Bases:

Estos cálculos están basados en obtener mezclas de cementos que tengan una superficie específica de - 4250 cm^2/g Blaine y un peso de 1 kg.

Método de cálculo:

El método seleccionado para efectuar el cálculo de las proporciones están basadas en las ecuaciones si multaneas siguientes:

B_1 : Mezcla de M1 y M4.

$$3555 x + 5084 y = 4250; x + y = 1$$

$$\frac{5084y}{3555} - y = \frac{4250}{3555} - 1$$

$$1.430 y - y = 1.1955 - 1$$

$$y = 0.4546$$

BLAINE OBTENIDO 4180 cm^2/g .

B₂ : Mezcla de M1 y M3.

$$3555 x + 4533 y = 4250$$

$$x + y = 1$$

$$x = \frac{4250 - 4533y}{3555}$$

$$x = 1 - y$$

$$\frac{4533}{3555} = y = \frac{4250}{3555} - 1$$

$$1.275y - y = 1.1954 - 1$$

$$.275y = 0.1954$$

$$y = 0.710$$

BLAINE OBTENIDO 4269 cm²/g

B₃ : Mezcla de M2 y M4.

$$4145 x + 5084 y = 4250; x + y = 1$$

$$\frac{5084y}{4145} - y = \frac{4250}{4145} - 1$$

$$0.2265 y = 0.2533$$

$$y = 0.1118$$

BLAINE OBTENIDO 4270 cm²/g

B : Mezcla de M2 y M3.

$$4145 x + 4533 y = 4250; x + y = 1$$

$$\frac{4533y}{4145} - y = \frac{4250}{4145} - 1$$

$$1.0936 y - y = 1.0253$$

$$y = 0.2702$$

BLAINE OBTENIDO 4261 cm²/g

V.5 METODO PARA OBTENCION DE MEZCLAS COMBINADAS:

Las muestras primarias con Blaine de 3555, 4145, 4533 y 5084 cm^2/g se pesaron en la balanza analítica basadas en las proporciones calculadas anteriormente para la obtención de una muestra con 4250 cm^2/g Blaine.

Con las proporciones correctas de cada una de las muestras se procedió a la homogenización por lapsos de 20-30 minutos, en los cuales con la ayuda de una cuchara se efectuó la homogenización, dividiendo la muestra combinada y mezclandola repetidas veces hasta obtener la muestra representativa de cada una de las combinaciones.

Obtenidas las muestras combinadas se pasaron a traves de una malla con el objeto de eliminar basuras probables. Una vez hecho esto se verificó, la superficie específica de estas mezclas utilizando el permeabilímetro de Blaine.

Obtenidas las muestras combinadas se pesaron en la balanza analítica .15 mg de cada una de estas muestras, se aforaron a 100 ml con solución electrolítica con el objeto de obtener soluciones relativamente bajas en cuanto a concentración y propicias para efectuar conteos más apegados a lo establecido en las indicaciones correspondientes al funcionamiento del equipo Coulter.

Al mismo tiempo se volvió a checar el Blaine de cada una de las muestras combinadas. Las variaciones obtenidas se consideraron dentro de lo normal ya que los cálculos de proporciones

de mezclas basadas en 4250 Blaine y los resultados obtenidos en el permeabilímetro de Blaine fueron los mismos y no variaban considerablemente (máx. 1.5%).

V.6 INTERPRETACION Y CONCEPTOS DETERMINADOS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LAS MEZCLAS B_1 , B_2 , B_3 , B_4 .

Basándonos en que los datos obtenidos de las muestras primarias para superficies específicas de 3555, 4145, 4533 y 5084 cm^2/g se observó que obedecían a distribuciones esperadas de partículas.

Considerando las mezclas B_1 , B_2 , B_3 y B_4 de acuerdo a sus respectivas resistencias a diferentes edades de fraguado y al mismo tiempo las iremos analizando entre sí.

V.6.1 Análisis de las resistencias y las concentraciones, de partículas a las 24 horas.

Iniciaremos nuestro estudio considerando en primer lugar los datos obtenidos con el tubo de 50 micrones de diámetro, con el objeto de poder relacionar las resistencias obtenidas a las 24 horas con las respectivas concentraciones de partículas para cada una de las diferentes muestras.

Consideraremos los canales inferiores a 3.17 micrones de diámetro en la muestra B_1 .

La concentración de partículas en estos canales se encuentra en mayor proporción que la que presentan las muestras B_2 y B_4 . Basándonos en lo anterior podemos pensar que siendo la concen

tración de partículas mayor en la muestra B_1 , ésta presentará una resistencia mayor que las resistencias obtenidas en las muestras B_2 y B_4 . Esto no sucede, la resistencia de 133 kg/cm² obtenida en la muestra B_1 es inferior a la resistencia que presenta la muestra B_2 . (137 kg/cm²). La resistencia que presenta B_4 (126 kg/cm²) sí es inferior a la resistencia que presentó la muestra B_1 , esto se debe a que la concentración de partículas en los canales inferiores a 3.17 micrones sí presentan una diferencia notable respecto a la concentración de partículas en la muestra B_1 .

En nuestro concepto la concentración de partículas encontradas en la muestra B_1 presenta una configuración muy similar a la que presenta la muestra B_3 , por lo que la resistencia de 133 kg/cm² la consideramos baja.

De lo anterior llegamos a la conclusión de que probablemente existió un error al obtener la resistencia R_{B1} , la cual no se rectificó nuevamente por falta de muestra.

Analizando lo anterior y considerando que las concentraciones de partículas en los canales inferiores de ambos tubos de apertura utilizados muestran una gran semejanza supondremos que la resistencia obtenida con la muestra B_3 es igual a la resistencia de la muestra B_1 .

Si lo anterior es aceptado tendremos que para los rangos menores a 3.17 micrones la concentración de partículas en la muestra B_1 será muy semejante a la de la muestra B_3 y por lo tan-

to sus resistencias serán muy parecidas.

Al analizar las concentraciones de partículas correspondientes a la muestra B_2 respecto a la muestra B_4 tenemos que la concentración de partículas menores a 3.17 micrones es mayor a la que presenta la muestra B_4 , esto justifica la resistencia de 126 kg/cm² obtenida en la muestra B_4 la cual es menor a la resistencia de 137 kg/cm² encontrada en la muestra B_2 .

Si consideramos la concentración de partículas existentes en la muestra B_2 y B_3 observaremos que la concentración que presenta la muestra B_2 es menor a la de la muestra B_3 , por lo cual, la resistencia de 137 kg/cm² que presenta B_2 se puede considerar aceptable tomando en cuenta que las concentraciones de partículas en los canales inferiores no se encuentran muy diferenciadas pero sí ligeramente superiores en la muestra B_3 que presentó una resistencia de 138 kg/cm².

Las concentraciones de partículas resultantes de las determinaciones obtenidas con las muestras B_3 y B_4 muestran en los canales inferiores a 3.17 micrones una clara diferenciación entre las partículas correspondientes a la muestra B_4 y B_3 en las cuales, la concentración de partículas es notoria y es superior en la muestra B_3 . Si la concentración de partículas es mayor en la muestra B_3 respecto a la muestra B_4 , la resistencia obtenida será mayor en B_3 , por lo cual la resistencia de 138 kg/cm² es justificable y superior a la resistencia de 126 kg/cm² obtenida con la muestra B_4 .

El desarrollo seguido anteriormente nos demuestra la relación

existente entre las resistencias y las concentraciones de partículas entre las muestras de cemento analizadas en los canales de 3.17 micrones e inferiores, en los cuales, se obtienen resistencias a las 24 horas de acuerdo a sus respectivas concentraciones de partículas.

Con el objeto de poder explicar las consideraciones anteriores en una forma más consistente, los razonamientos desarrollados se aplicaron a continuación en la forma matemática siguiente, tomando en cuenta los datos obtenidos para concentraciones de partículas menores e iguales a 3.17 micrones de diámetro :

Estableceremos que:

$\{B_1\}$ = concentración de partículas en la muestra B_1

$\{B_2\}$ = concentración de partículas en la muestra B_2

$\{B_3\}$ = concentración de partículas en la muestra B_3

$\{B_4\}$ = concentración de partículas en la muestra B_4

R_1, R_2, R_3, R_4 = Resistencias correspondientes a las muestras B_1, B_2, B_3, B_4 , respectivamente.

Siendo:

$$R_1 = 133 \text{ kg/cm}^2$$

$$R_2 = 137 \text{ kg/cm}^2$$

$$R_3 = 138 \text{ kg/cm}^2$$

$$R_4 = 126 \text{ kg/cm}^2$$

Las resistencias anteriores implican lo siguiente de acuerdo al razonamiento desarrollado:

$$\{B_3\} > \{B_2\} \text{ implica } R_3 > R_2$$

$$\{B_3\} > \{B_4\} \text{ implica } R_3 > R_4$$

Por lo tanto:

$$\{B_3\} > \{B_2\} > \{B_4\} \quad R_3 > R_2 > R_4$$

Considerando que si:

$$\{B_1\} = \{B_3\} \text{ implica } R_1 = R_3$$

Tendremos que:

$$R_1 > R_2 \quad R_2 > R_4 \quad R_3 > R_2 \quad R_4 < R_1$$

$$R_1 > R_4 \quad R_2 < R_1 \quad R_3 > R_4 \quad R_4 < R_2$$

$$R_1 = R_3 \quad R_2 < R_3 \quad R_3 = R_1 \quad R_4 < R_3$$

Obteniendo finalmente:

$$\{B_1\} = \{B_3\} \quad \{B_2\} > \{B_4\} \quad R_1 = R_3 > R_2 > R_4$$

Estableciendo con lo anterior que los resultados y desarrollos realizados respecto a las resistencias encontradas a las 24 - horas en las muestras respectivas se encuentran más justificadas con aquellas concentraciones de partículas que presentaron diferencias notables en sus distribuciones de partículas, llegando a reconfirmar como resultado de las determinaciones - anteriores, que las concentraciones de partículas encontradas en las diferentes muestras respecto a los tamaños tratados, - menores e iguales a 3.17 micrones influyen directamente en - las resistencias obtenidas a las 24 horas, confirmando lo establecido por Beke (fig. 2).

Es también de bastante importancia considerar a aquellas partículas con rangos inferiores a 0.794 micrones, las cuales no

fueron cubiertas en estas determinaciones debido a que se necesitaría trabajar utilizando un tubo de apertura menor con el objeto de poder cubrir un rango inferior más amplio. Los problemas que existen para efectuar estas determinaciones son muy variados y laboriosos.

En nuestras determinaciones se pensó en trabajar utilizando un tubo de 30 micrones de diámetro. Al utilizarlo, el orificio por el cual pasaron las partículas sufrió obstrucciones constantes de partículas de diámetros altos, dando como resultado variaciones en los conteos y distribuciones de partículas, inconsistentes con las muestras en cuestión.

Una vez tratado lo anterior analizaremos las resistencias obtenidas a los 7 y 28 días con las muestras B₁, B₂, B₃ y B₄ relacionandolas con sus respectivas distribuciones de partículas las cuales aparecen en la tabla v.5 y que son las correspondientes a las distribuciones de partículas obtenidas empleando el tubo de apertura de 140 micrones en el equipo Coulter.

v.6.2 Análisis de las concentraciones de partículas y resistencias a los 28 días.

Los límites que abarca este tubo tiene una amplitud que va de 3.17 a 64 micrones. Basandonos en que estos límites cubrirán los tamaños de partículas que influyen principalmente en las resistencias a los 7 y 28 días se procedió en la forma siguiente para la justificación de los resultados obtenidos.

Dividiremos el límite total en dos porciones. La primera cu--

T A B L A V.5
CONCENTRACION DE PARTICULAS PROMEDIO BASADAS EN LAS TABLAS V.1 y V.2

MUESTRA	B ₁		B ₂		B ₃		B ₄	
BLAINE cm ² /g	4180		4269		4261		4277	
COMPOSICION								
CONTEO POR CANAL								
APERTURA (MICRONES)	140	50	140	50	140	50	140	50
No. CANAL-DIAMETRO	140 50 (MICRONES)							
- 3	0.794	5538.27	8652.11	6585.25	5000.72			
- 4	1.00	23716.85	22100.99	24053.19	22635.21			
- 5	1.26	19383.96	19994.00	19013.77	17791.80			
- 6	1.59	34304.73	22302.72	34966.78	18997.11			
- 7	2.00	38311.84	26404.63	36729.03	19147.11			
- 8	2.52	26485.99	24925.25	30916.70	21187.34			
3 9	3.17	23675.97	27430.76	21783.56	22414.80	23699.81	28072.36	20397.50
4 10	4.00	31777.79	29483.18	28670.46	21921.67	27486.90	29772.78	24062.80
5 11	5.04	25077.14	30655.99	20623.26	18873.26	18917.96	30916.70	18931.27
6 12	6.35	22498.27	29320.29	19126.11	14390.30	16090.74	28536.11	14661.28
7 13	8.00	23412.01	23716.85	20510.98	8876.26	16963.34	23836.77	16603.89
8 14	10.08	23148.04	18406.62	20361.26	6993.41	17364.74	16540.43	18911.37
9 15	12.70	19797.66	11011.39	20960.12	4707.10	17923.20	9584.17	20892.32
10 16	16.00	12954.78	3160.07	17853.53	1972.50	15794.06	2256.91	20764.02
11	20.20	7127.16		12800.64		11832.45		17152.69
12	25.40	3878.31		7261.18		6701.56		11839.48
13	32.00	1380.76		3555.73		2862.12		5552.95
14	40.30	406.10		1048.00		558.46		2309.15
15	50.30	406.10		0.00		436.30		1154.57
16	64.00	2842.74		0.00		0.00		1521.10
TIEMPO	RESISTENCIA R ₁ (kg/cm ²)		RESISTENCIA R ₂ (kg/cm ²)		RESISTENCIA R ₃ (kg/cm ²)		RESISTENCIA R ₄ (kg/cm ²)	
24 horas	133		137		138		126	
7 días	291		306		309		293	
28 días	381		374		399		404	



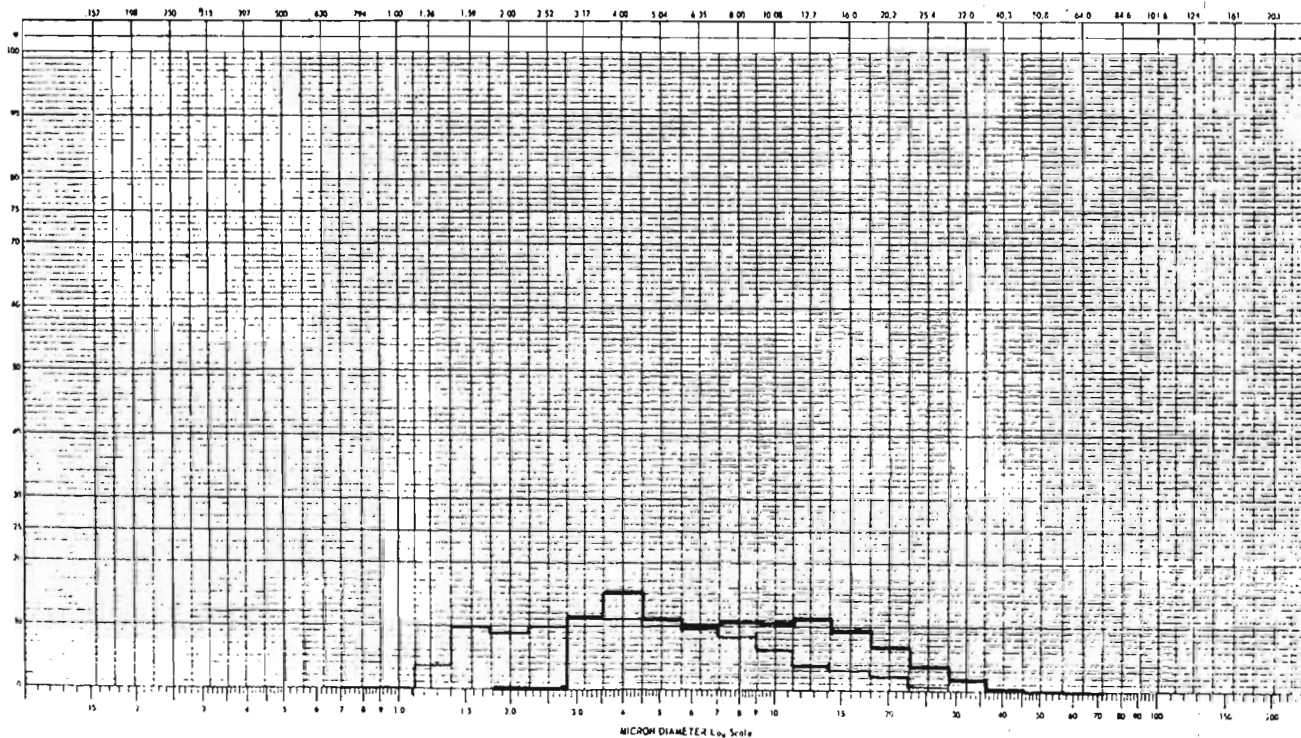
COULTER COUNTER® Model T

PARTICLE SIZE ANALYSIS

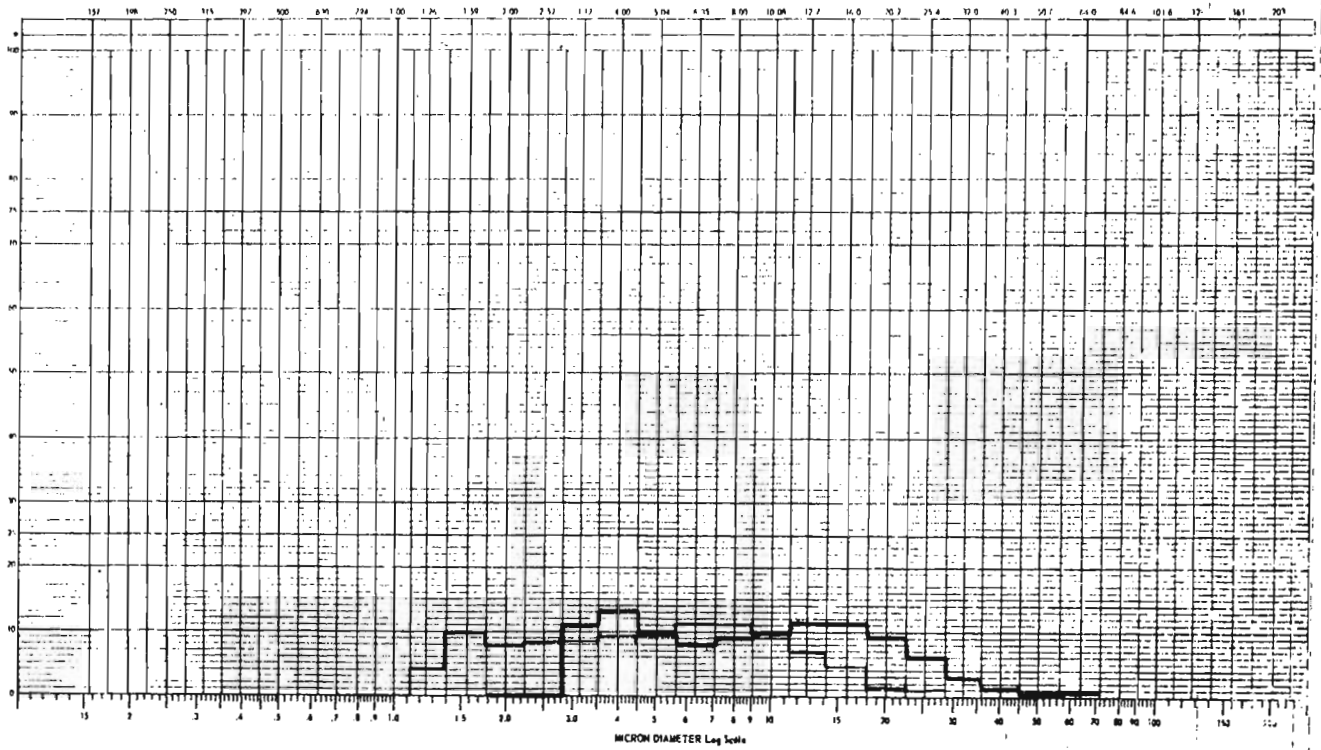
15 - 200 μ
% PERCENT

COULTER ELECTRONICS INC.
390 W 10 ST.
MILWAUKEE, WIS. 53210

ORGANIZATION		$V = d \sqrt{\frac{2}{A}}$		$\frac{d_2}{d_1} = \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^{1/2}$ when $W_2 = W_1$		SAMPLE SETTINGS							
OPERATOR		APER. SIZE		SERIAL		PART DIA.	W	± IA	A	DIA.	W	± IA	A
EQUIPMENT		ELECTROLYTE		DISPERANT									
SAMPLE		BLAINE 4269 cm ³ /g											
		CONTED PROMEDIO											
		TUBO APERTURA 140 μ: 127144											
		TUBO APERTURA 50 μ: 224148											



OPERATION	$V = d \sqrt{\frac{2r}{k}}$		$\frac{d_1}{d_2} = \left(\frac{d_1}{d_2}\right)^3$ when $W_1 = W_2$		SAMPLE SETTINGS							
EQUIPMENT	APERTURE	DISPERGENT	APERTURE	SERIAL	PART NO.	W	d 1A	A	L.A.	W	d 1a	A
SAMPLE	ELECTROLYTE	DISPERGENT										
BLAINE 4261 cm ² /g CONTEO PROMEDIO TUBO APERTURA 140M: 183266 TUBO APERTURA 50M: 227408												



brirá aquellos diámetros de partículas que se encuentran entre 3.17 y 16 micrones, la segunda porción cubrirá los diámetros superiores a los 16 micrones.

Debido a que encontramos una gran interrelación entre las partículas de ambas porciones y observando además que esta influía bastante en la resistencia obtenida a los 7 días, decidimos estudiar primero el límite superior que va de 16 a 64 micrones con el objeto principal de poder llegar a explicar el comportamiento de las concentraciones de partículas en la resistencias obtenidas a los 28 días y de ahí partir para efectuar las consideraciones respectivas en las resistencias obtenidas a los 7 días, en los cuales, la distribución de partículas no demuestra en una forma directa su intervención en las resistencias desarrolladas, es decir, se requirió analizar e interrelacionar las distribuciones de partículas de los dos límites tratados para poder ser explicadas sus resistencias y en algunos casos se volvieron a considerar los límites inferiores de las concentraciones de partículas obtenidas con el tubo de 50 micrones de diámetro.

Considerando la muestra B₁ en el rango de 16 a 64 micrones observamos que la concentración de partículas en estos canales es inferior a la de cualquier otra muestra. Esto nos hace pensar en encontrar una resistencia baja y menor a la de cualquier otra muestra. La resistencia de 381 kg/cm² correspondiente a la resistencia que presentó esta muestra a los 28 días es baja, pero no menor a las resistencias obtenidas en -

las muestras restantes.

La resistencia de 381 kg/cm² se justifica basándonos en la -- gran concentración de partículas de 64.00 micrones de diámetro encontradas en el último canal superior. Esta concentración - de partículas influyó bastante para que la resistencia a los 28 días no fuera menor. Este caso nos permite observar clara- mente la influencia e importancia que presentan las partícu-- las de 64 micrones en las resistencias finales, lo cual se - comprueba nuevamente al considerar y comparar esta muestra - con la muestra B₂ en la cual existe una notoria ausencia de - partículas entre 50.84 y 64 micrones en donde la concentración de partículas entre los canales de 16.00 a 40.30 micrones nos indican una alta concentración de partículas, respecto a las encontradas en la muestra B₁ considerando los mismos canales. Lo anterior comprueba que las resistencias finales muestran - una dependencia directa con las concentraciones de partículas con diámetros altos, en este caso 64.00 micrones.

La resistencia de 374 kg/cm² encontrada a los 28 días para la muestra B₂ se justifica con lo anteriormente mencionado es de cir, esta resistencia resultó ser la menor de todas las mues- tras debido principalmente a la baja concentración de partícu- las en los dos últimos canales superiores.

Efectuando la comparación de las resistencias y concentracio- nes de partículas obtenidas en las muestras B₃ y B₄ respecto a la muestra B₁ está no presenta mayor problema de explica--- ción. La resistencia de 399 kg/cm² obtenida con la muestra B₃

esta en función de su propia concentración de partículas y al ser mayor su concentración que la concentración de partículas mostradas en B_1 respecto a los canales considerados su resistencia de 399 kg/cm² deberá de ser mayor a la de 381 kg/cm² - en B_1 , lo cual está de acuerdo a nuestros resultados. La muestra B_4 , con concentración de partículas superiores a las de todas las demás muestras presentó una resistencia a los 28 días de 404 kg/cm² la cual está de acuerdo al anterior desarrollo para la justificación de cada una de las resistencias. Los razonamientos anteriores los aplicaremos matemáticamente en la misma forma como fueron tratadas anteriormente las resistencias y las concentraciones de partículas para los diámetros correspondientes a las resistencias obtenidas a las 24 horas.

$$\{B_1\} < \{B_2\}$$

Valido sólo para concentraciones entre 16 y 40.30 micrones; - no así para concentraciones de partículas con 50.80 y 64.00 micrones de diámetro en donde:

$$\{B_1\} > \{B_2\}$$

lo cual nos lleva a considerar, en este único caso lo siguiente:

$$\{B_1\} > \{B_2\} \text{ implica } \{R_1\} > \{R_2\}$$

Considerando las muestras restantes y una vez aceptado lo anterior:

$\{B_1\} < \{B_3\}$ implica $\{R_2\} > \{R_1\}$

$\{B_1\} < \{B_4\}$ implica $\{R_4\} > \{R_1\}$

$\{B_3\} < \{B_4\}$ implica $\{R_4\} > \{R_3\}$

Lo anterior implica que: $\{B_1\} > \{B_2\}$

B_1 , B_3 , $B_4 > B_2$

y:

$R_1, R_3, R_4 > R_2$

Quedandonos finalmente efectuar las comparaciones relacionadas con la muestra B_2 y B_4 , B_3 y B_4 , y B_2 y B_3 .

Consideraremos las concentraciones de partículas que presentan las muestras B_2 y B_4 y las relacionaremos con sus respectivas resistencias de acuerdo a lo siguiente:

La resistencia de 404 kg/cm² que presentó la muestra B_4 a los 28 días implica una concentración de partículas mayor que la de la muestra B_2 que presenta una resistencia a los 28 días de 374 kg/cm². Al observar las concentraciones de partículas en los canales superiores de la tabla en cuestión se puede notar fácilmente que la concentración de partículas en la muestra B_4 es superior a la muestra B_2 por lo cual las resistencias obtenidas están de acuerdo a las concentraciones de partículas encontradas en ambas muestras. El caso anterior presenta las mismas características relacionadas con la comparación de las resistencias y las concentraciones de partículas para las muestras B_4 y B_3 , no así al efectuar la comparación de la muestra B_3 y B_2 en donde la resistencia de 374 kg/cm² obtenida en B_2 , con una concentración mayor de partículas que

la que presentó B₃, resulta menor que la de 399 kg/cm² obtenida en B₃, que presenta una menor concentración de partículas. Esto se explica por la concentración tan baja que presentó B₂ en los dos últimos canales superiores, siendo ésta concentración de partículas la razón por la cual la resistencia obtenida resulta tan baja.

Los razonamientos anteriores los estableceremos en la forma siguiente:

Considerando las muestras B₃ y B₄ tenemos:

$$\{B_4\} > \{B_3\} \text{ implica que } R_4 > R_3 \quad \text{l.q.q.d.}$$

$$\{B_4\} > \{B_2\} \text{ implica que } R_4 > R_2 \quad \text{l.q.q.d.}$$

$$\{B_2\} > \{B_3\} \left| \begin{array}{l} 40.30 \mu \\ 20.20 \mu \end{array} \right.$$

$$\{B_3\} > \{B_2\} \left| \begin{array}{l} 64.00 \mu \\ 50.80 \mu \end{array} \right. \quad R_3 > R_2$$

$$\{B_4\} > \{B_3\} > \{B_1\} > \{B_2\}$$

$$R_4 > R_3 > R_1 > R_2$$

V.6.3 Análisis de las concentraciones de partículas y resistencias obtenidas a los 7 días.

Como lo mencionamos anteriormente, las conclusiones obtenidas de las determinaciones relacionadas con las resistencias y sus respectivas concentraciones de partículas muestran particularidades de correlación no tan diferenciadas como las que mencionamos al tratar las resistencias obtenidas a las 24 horas y a los 28 días.

Las resistencias obtenidas a los 7 días no se apegan tan noto

riamente a un límite específico de concentración de partículas sino que estas resistencias, de acuerdo a nuestras determinaciones, se encuentran en función de límites mucho más amplios de consideración.

Los límites que se consideraron para la explicación de las resistencias a los 7 días fueron el total debido a que estas resistencias se vieron influenciadas por todas las de partículas. En algunos casos las concentraciones de partículas en los canales inferiores fueron determinantes para las resistencias - obtenidas, en otras las concentraciones de partículas determinantes se encontraron en los canales medios y superiores; es por esta razón por la cual no se puede considerar un rango medio específico de concentración de partículas que se diga sea el apropiado para que se justifiquen las resistencias obtenidas a los 7 días.

Al analizar la concentración de partículas de la muestra B_1 - respecto a la muestra B_2 tenemos que la concentración de partículas que va de 3.17 a 10.08 micrones de diámetro es mayor en la muestra B_1 que en la muestra B_2 , no así en los canales superiores a 12.70 micrones en donde la concentración de partículas tiende a su mayor en la muestra B_2 .

La resistencia de 306 kg/cm² obtenidas con la muestra B_2 nos hace suponer que la concentración de partículas mayores a - - 12.70 micrones fué la causa principal por la cual esta resistencia a pesar de su baja concentración de partículas entre -- 50.80 y 64.00 micrones haya resultado mayor a la resistencia

de 291 kg/cm² obtenida con la muestra B₁. Lo anterior nos muestra en este caso como las concentraciones de partículas con diámetros altos influyeron en forma determinante respecto a las resistencias obtenidas a los 7 días.

Al analizar la muestra B₃ observamos que la concentración de partículas que se encuentran entre 3.17 y 12.70 micrones es menor a la encontrada en la muestra B₁. No así en los canales superiores a 16 micrones en donde la concentración de partículas en la muestra B₃ resultó ser mayor obteniéndose de esta forma una resistencia en la muestra B₃ de 309 kg/cm² mayor a la de 291 kg/cm² que presentó la muestra B₁.

Al analizar la muestra B₄ y comparar su concentración de partículas con la muestra B₁ tomando en cuenta los canales inferiores a 12.70 micrones observamos que la concentración de partículas en la muestra B₁ es mayor a la de B₄ y que de 12.70 micrones en adelante la concentración de partículas es mayor en la muestra B₄.

La resistencia es mayor en B₄, pero ésta resistencia no es tan alta como la esperada de acuerdo a la gran diferencia en concentraciones de partículas que presenta una con respecto a la otra. Lo que ocurre en este caso es que esta resistencia no está representada realmente por la concentración de partículas de los canales que va de 12.70 a 64.00 micrones sino que esta resistencia es también dependiente y se vió influenciada por las concentraciones de partículas encontradas en los canales inferiores a 12.70 micrones, es donde se observa con faci

lidad una concentración de partículas notablemente inferior - que la que presenta la muestra B₁.

Ahora bien, al examinar y comparar las resistencias y concentraciones de partículas de las muestras B₃ y B₄, B₂ y B₃ observamos en forma general que las resistencias obtenidas están en función de los canales inferiores y en el caso de la comparación de la muestra B₂ y B₃ estas resistencias al ser comparadas con sus respectivas concentraciones están en función de las partículas menores a 3.17 micrones.

Los razonamientos anteriores los resumiremos en la forma siguiente para las resistencias obtenidas a los 7 días.

Muestras B₁ y B₂:

$$\begin{array}{l} \{B_1\} > \{B_2\} \left| \begin{array}{l} 12.70 \mu \\ 3.17 \mu \end{array} \right. \\ \{B_2\} > \{B_1\} \left| \begin{array}{l} 40.30 \mu \\ 12.70 \mu \end{array} \right. \\ \{B_1\} > \{B_2\} \left| \begin{array}{l} 64.00 \mu \\ 40.30 \mu \end{array} \right. \end{array}$$

Infiere que $R_2 > R_1$ l.q.q.d.

Muestras B₁ y B₃:

$$\begin{array}{l} \{B_1\} > \{B_2\} \left| \begin{array}{l} 12.70 \mu \\ 3.17 \mu \end{array} \right. \\ \{B_3\} > \{B_1\} \left| \begin{array}{l} 50.80 \mu \\ 12.70 \mu \end{array} \right. \\ \{B_1\} > \{B_3\} \left| \begin{array}{l} 64.00 \mu \\ 50.80 \mu \end{array} \right. \end{array}$$

Infiere que $R_3 > R_1$ l.q.q.d.

Muestras B₁ y B₄:

$$\begin{array}{l} \{B_1\} > \{B_4\} \left| \begin{array}{l} 12.70 \mu \\ 3.17 \mu \end{array} \right. \\ \{B_4\} > \{B_1\} \left| \begin{array}{l} 64.00 \mu \\ 12.00 \mu \end{array} \right. \end{array}$$

Infiere que $R_4 > R_1$ l.q.q.d.

VI. CONCLUSIONES

Las determinaciones realizadas en este estudio nos permiten proponer las consideraciones siguientes con el objeto principal de que estas sean utilizadas como fundamentos iniciales para ser aplicadas en estudios posteriores.

En el caso de que se utilizara nuevamente el equipo empleado para realizar estudios analogos sugerimos lo siguiente con el objeto de reafirmar y consolidar los resultados anteriormente obtenidos.

Tomar dos muestras de cemento con superficie especifica diferente, de preferencia con finuras bastantes diferenciadas. Dejar una cantidad en peso de una de las muestras fija al efectuar la elaboración de la mezcla, e ir adicionando una cantidad variable de la segunda variando así la relación porcentual.

Variando la concentración en peso de una de las muestras se trataría de observar la intervención de sus partículas en los diferentes canales respecto a la resistencia deseada, e ir las comparando entre sí en la misma forma a la desarrollada. Los resultados a los que se llegarían serían muy semejantes a los obtenidos en este estudio; solamente que en esta forma se podrían ir verificando las contribuciones de distribuciones de partículas en las resistencias resultantes en una forma más directa y tal vez se podría llegar a explicar en una forma más específica el tipo de partículas que intervienen en los

desarrollos de las resistencias a los 7 días, los cuales no fueron posibles relacionarlos con partículas mayores de 12.7 micrones, aunque se establece que estas resistencias se encuentran en función de la totalidad de las partículas. En algunos casos se encuentran afectadas por las concentraciones de partículas en los canales superiores e inferiores o medios y son el resultado de concentraciones de partículas con diámetros entre límites bastante diferenciados, las cuales llegan a influir en forma notoria en las resistencias en cuestión.

Lo anterior se puede aplicar a la muestra B₁ en la cual se puede observar que existe una clara diferenciación e intervención de partículas en los canales superiores e inferiores como resultado de las dos superficies específicas extremas utilizadas (3555 y 5084 cm²/g), las cuales tienden a influir en las resistencias a edades diferentes de fraguado; principalmente a las 24 horas y a los 28 días. No así a los 7 días en los cuales las resistencias están en función de rangos de concentraciones de partículas más amplios y en los cuales no se pudo definir exactamente y en forma general aquellas partículas que intervienen en su desarrollo.

De los razonamientos anteriores se puede pensar en que podría existir una combinación de muestra ideal a elaborar y la cual puede ser considerada como óptima para la obtención y desarrollo de resistencias adecuadas para ser aplicadas a casos específicos.

En nuestras determinaciones la muestra B₃ la podríamos consi-

derar como óptima de acuerdo a las concentraciones de partículas obtenidas las cuales influyeron para que las resistencias resultantes presentaran en forma general mejores y más altas resistencias.

Sin embargo pueden ocurrir casos en que se requieren bajas resistencias a edades de endurecimiento de 24 horas y al mismo tiempo necesitar altas resistencias a edades de 28 días. En este caso la muestra B₃ no sería la adecuada y sí la mezcla B₄ que presenta resistencias y concentraciones de partículas adecuadas para su selección.

Lo anterior nos lleva a considerar que se pueden efectuar determinaciones de optimización, utilizando los mismos componentes pero mezclados en diferentes proporciones con el objeto de determinar una mezcla óptima, en donde se regule la concentración de partículas de acuerdo a las resistencias que se deseen obtener dentro de límites prefijados y establecidos como consecuencia de cada estudio.

Uno de los puntos principales que quedó establecido es el de como las resistencias a las 24 horas son dependientes y realmente están en función de las concentraciones de partículas iguales y menores a 3.17 micrones, las cuales se consideran fundamentales y necesarias para la obtención de las resistencias iniciales.

Se estableció también que aquellas concentraciones de partículas con diámetros cercanos a 64 micrones influyen directamente en las resistencias obtenidas a los 28 días y que estas -

partículas son los principales componentes que afectan a las resistencias finales de un cemento y que son fundamentales para el desarrollo de altas resistencias a edades finales de endurecimiento.

En el caso de que se utilizara nuevamente el equipo Coulter - empleado para realizar estudios analogos, se deberá de tomar en cuenta lo siguiente:

El equipo es de utilidad para fines de investigación trabajando con diferenciación de diámetros de partículas bien definidas.

La reproducibilidad de conteo y distribución de concentraciones de partículas es aceptable y correcta sin embargo, los datos que se obtienen para fines de comparación no se encuentran muy diferenciados para aquellos casos en que se trabaja con límites de partículas cuyas dimensiones no se encuentren notoriamente diferenciados.

En el caso del cemento, su diferenciación de partículas es notoria, sin embargo esta se puede considerar relativamente baja en las determinaciones realizadas, esto tiende a ser consecuencia de límites tan extensos de concentraciones de partículas con las cuales se trabajó y en las que la diferenciación de partículas que intervinieron no resultó apreciable.

En el caso del cemento el equipo es de utilidad entre límites. Es aceptable para fines de investigación pero para utilizarlo trabajando con grandes volúmenes de material tal vez los resultados no fueran muy representativos, es decir, el volumen

de muestra que analiza es ínfimo (0.0375 mg) en relación a el volumen total que se requiere determinar.

Si se pudiera ir sacando muestras e ir las previamente verificando con respecto a su concentración de partículas entre límites establecidos para el cemento tratado. Estos límites podrían estar graficados como resultados de experimentaciones anteriores y nos podrían servir en algunos casos para ir confirmando la eficiencia del molino.

Es decir, se pueden efectuar análisis de los cementos muestra provenientes de un molino e ir verificando sus concentraciones de partículas permisibles de acuerdo a datos graficados previamente elaborados y así poder pronosticar y establecer la concentración de partículas existentes respecto a un tiempo definido de duración de rotación de molino o de variación respecto a los diámetros de los elementos de molturación.

El equipo sería de gran utilidad en el laboratorio de control de calidad y trabajaría como auxiliar del permeabilímetro - Blaine obteniendose en esta forma resultados más satisfactorios representativos y consistentes de cada una de las muestras analizadas.

Es de importancia señalar que para efectuar una perfecta dispersión de las partículas de cemento en el electrolito es necesario utilizar un agitador ultra sónico y poder así evitar las posibles aglomeraciones de partículas.

APENDICE A

Graficas de distribución de partículas.

T A B L A A.1

Distribución de partículas de 3.17 a 64 micrones del cemento con superficie específica de 3555 cm²/g utilizando un tubo de apertura de 140 micrones.

CONTEO TOTAL.											
CANAL	DIAMETRO	148617	142475	300687	139147	155153	157049	149689	145661	140903	143677
	MICRONES	DISTRIBUCION DE PORCENTAJE									
1	2.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	2.52	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	3.17	6.9	6.5	6.1	6.1	4.7	8.5	5.9	6.1	5.7	5.5
4	4.00	6.5	6.7	6.3	6.3	4.5	7.9	5.7	5.9	5.5	5.5
5	5.04	8.1	8.5	8.3	8.3	5.9	9.7	5.1	7.3	6.9	7.5
6	6.35	9.5	9.7	9.3	9.3	6.9	11.3	8.1	8.7	8.3	9.3
7	8.00	10.7	11.0	10.5	10.7	8.1	12.7	9.5	10.1	10.1	11.1
8	10.08	11.7	11.9	11.5	11.9	9.5	13.7	10.9	11.3	11.3	11.9
9	12.70	13.3	13.9	12.9	13.7	11.9	15.1	13.1	13.5	13.1	15.1
10	16.00	13.1	13.5	12.1	11.7	13.5	12.7	13.7	14.3	14.5	17.7
11	20.20	11.3	10.9	8.5	6.9	14.3	7.7	12.7	11.9	12.9	11.3
12	25.40	7.3	5.3	3.7	1.7	10.5	1.9	9.5	6.1	8.5	5.3
13	32.00	1.9	1.7	0.9	0.3	6.5	0.1	4.7	2.5	2.3	0.7
14	40.30	0.5	0.1	0.1	1.3	0.1	0.3	0.3	0.1	0.5	0.1
15	50.80	0.2	0.1	0.1	0.5	0.90	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
16	64.00	0.5	1.1	0.1		2.5	0.1	0.1	3.5	2.0	0.5



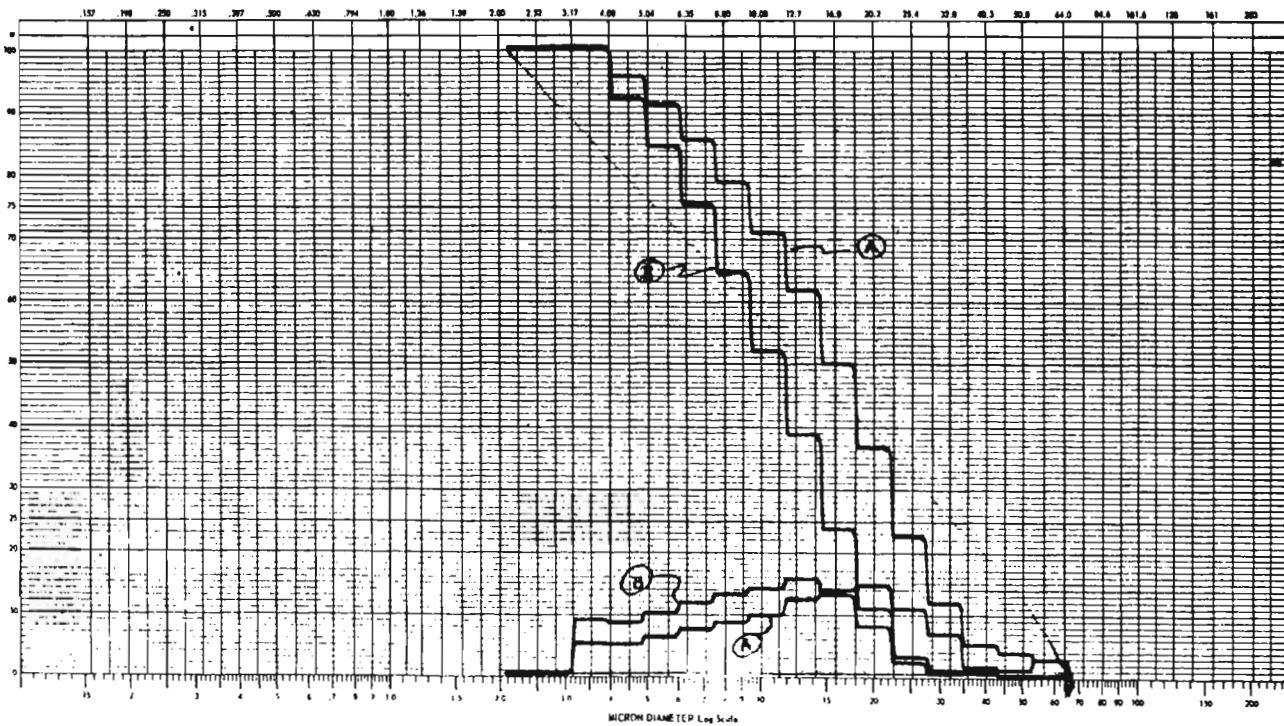
COULTER COUNTER® Model T

PARTICLE SIZE ANALYSIS

.16 - 200 μ
X PERCENT

COULTER ELECTRONICS INC.
305 W 30 ST.
MILWAUKEE, WIS. 53212

ORGANIZATION		$k = d \sqrt{\frac{F}{A}}$		$\frac{d_2}{d_1} = \left(\frac{F_2}{F_1}\right)^{1/2}$ where $F_2 = W_2$		SAMPLE SETTINGS							
OPERATOR		APPR. SIZE		NORMAL		PART DIA.	V	S SA	A	MA.	W	S SA	A
EQUIPMENT		DISPERGENT		140M									
SAMPLE		ELECTROLYTE											
A 155183		BLAINE 3585 cm ² /g											
B 157049													



MICRON DIAMETER Log Scale



COULTER COUNTER® Model T-A-TA

PARTICLE SIZE ANALYSIS

15 - 200
% PERCENT

COULTER ELECTRONICS INC.
290 W 30 ST.
MILWAUKEE, WIS. 53212

DESCRIPTION

OPERATOR

EQUIPMENT

$$V = \frac{4}{3} \pi r^3$$

$$\frac{\Delta Z}{\Delta T} = \left(\frac{dZ}{dZ}\right)^3 \text{ where } W_2 = W_1$$

$$\frac{\Delta Z}{\Delta T} = \left(\frac{dZ}{dZ}\right)^3 \text{ where } W_2 = W_1$$

SAMPLE SETTINGS

SAMPLE
A BLAINE 3565 cm²/g
B 149689
145664

DISPERGENT

APERTURE

140 μ

SERIAL

PART

NO.

V

A LA

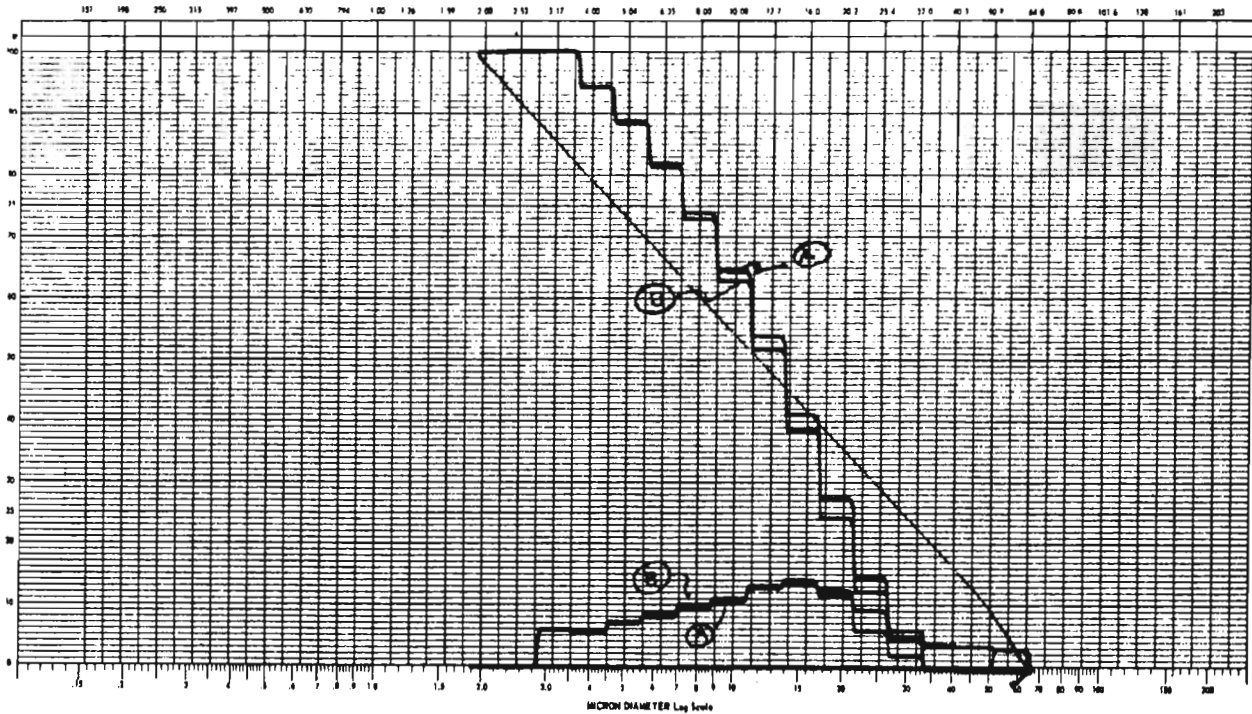
A

DR.

H

A LA

A





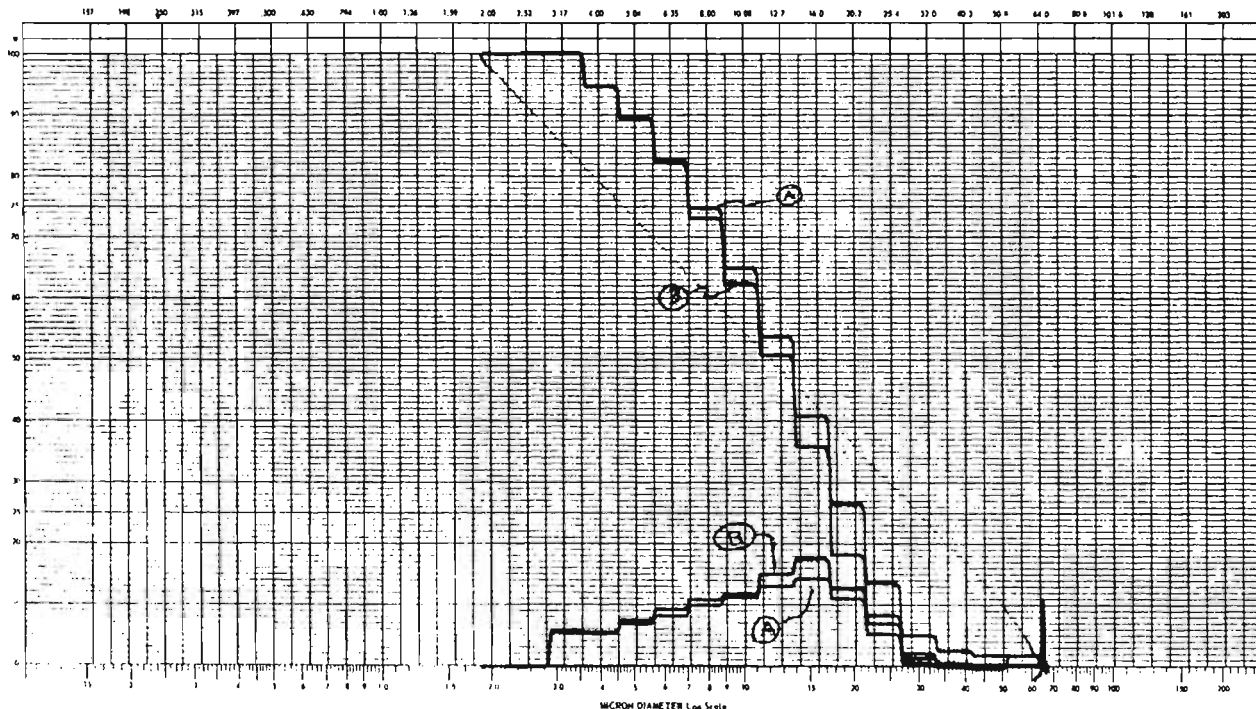
COULTER COUNTER® Model T & TA

PARTICLE SIZE ANALYSIS

18 - 200 μ
± PERCENT

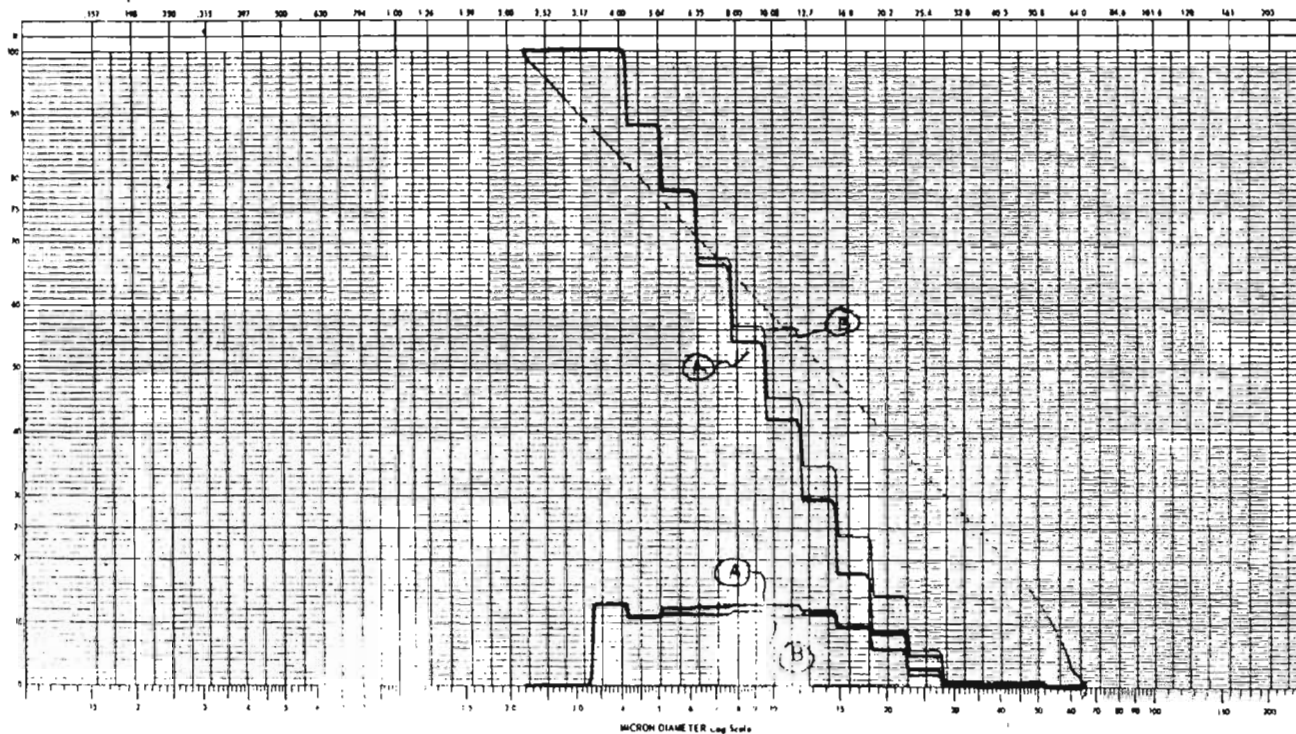
COULTER ELECTRONICS INC.
300 W 34 ST.
HAULEAN, P.L.A. 33018

ORGANIZATION		$V = \sqrt{\frac{2r}{\rho}}$ FOR MODEL T		$\frac{\Delta I}{\Delta t} \propto \left(\frac{d_p}{d_t}\right)^3$ when $W_2 = W_1$		$\frac{\Delta I}{\Delta t} \propto \left(\frac{d_p}{d_t}\right)^3$ when $W_2 = W_1$		SAMPLE SETTINGS					
OPERATOR								FOR MODEL T		FOR MODEL TA		SW	W
EQUIPMENT		APPR. VISE	SERIAL	PART No.	W	Δ I	Δ	SW	W	Δ I	Δ		
SAMPLE		ELECTROLYTE	DISPERANT										
A BLAINE 3555 cm ³ /g													
B 14093			140 ^M										
C 143677													



MICRON DIAMETER Log Scale

ORGANIZATION		$V = d \sqrt{\frac{3T}{4}}$		$\frac{d_2}{d_1} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^2$ when $V_2 = V_1$		SAMPLE SETTINGS					
OPERATOR		APERT. SIZE	SERIAL	PART DIA.	W	2 SA	A	SHA	W	2 SA	A
EQUIPMENT		ELECTROLYTE	DISPERSEANT								
SAMPLE											
A		BLAINE 1145 cm ² /g	140M								
B		1902M									
		156955									





COULTER COUNTER Model T

PARTICLE SIZE ANALYSIS

15 - 200 μm
2 PERCENT

COULTER ELECTRONICS INC
300 W 20 ST.
MILWAUKEE, WIS. 53210

SAMPLE SETTINGS

OPERATION

OPERATOR

EQUIPMENT

$$i = d \sqrt{\frac{7c}{\pi}}$$

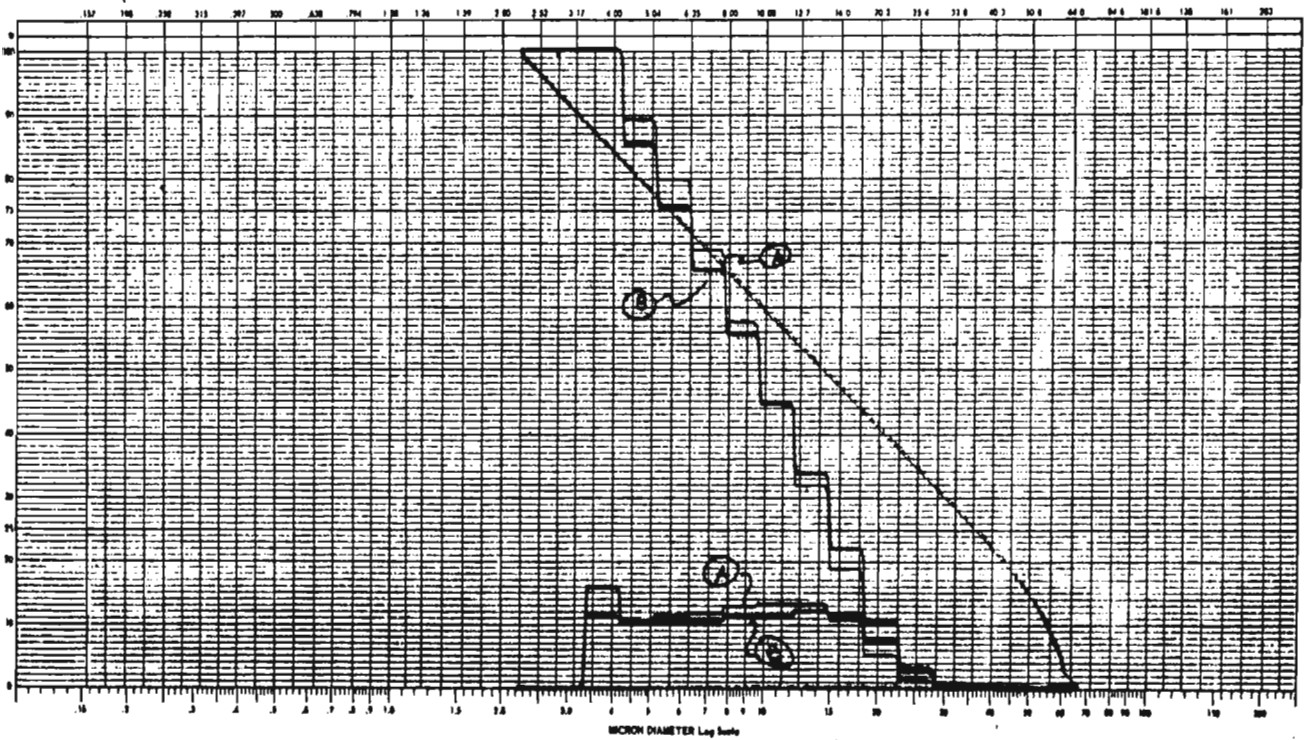
$$\frac{\Delta i}{i} = \left(\frac{\Delta d}{d}\right)^2 \text{ when } W_2 = W_1$$

SAMPLE BLAINE A146 cm²/g ELECTROLYTE DISPERSANT

APERT. SIZE	SERIAL	PART Dia.	W	Δ Lp	Wt.	W	Δ Sa	A
140 μ								

A 142353

B 178865





COULTER COUNTER® Model T

PARTICLE SIZE ANALYSIS

.15 - 200 μ
2 PERCENT

COULTER ELECTRONICS INC.
996 W 30 ST.
MILWAUKEE, WIS. 53219

OPERATION

$$V = d \sqrt{\frac{2}{A}}$$
$$\frac{A_1}{A_2} = \left(\frac{d_1}{d_2}\right)^2 \text{ where } V_1 = V_2$$

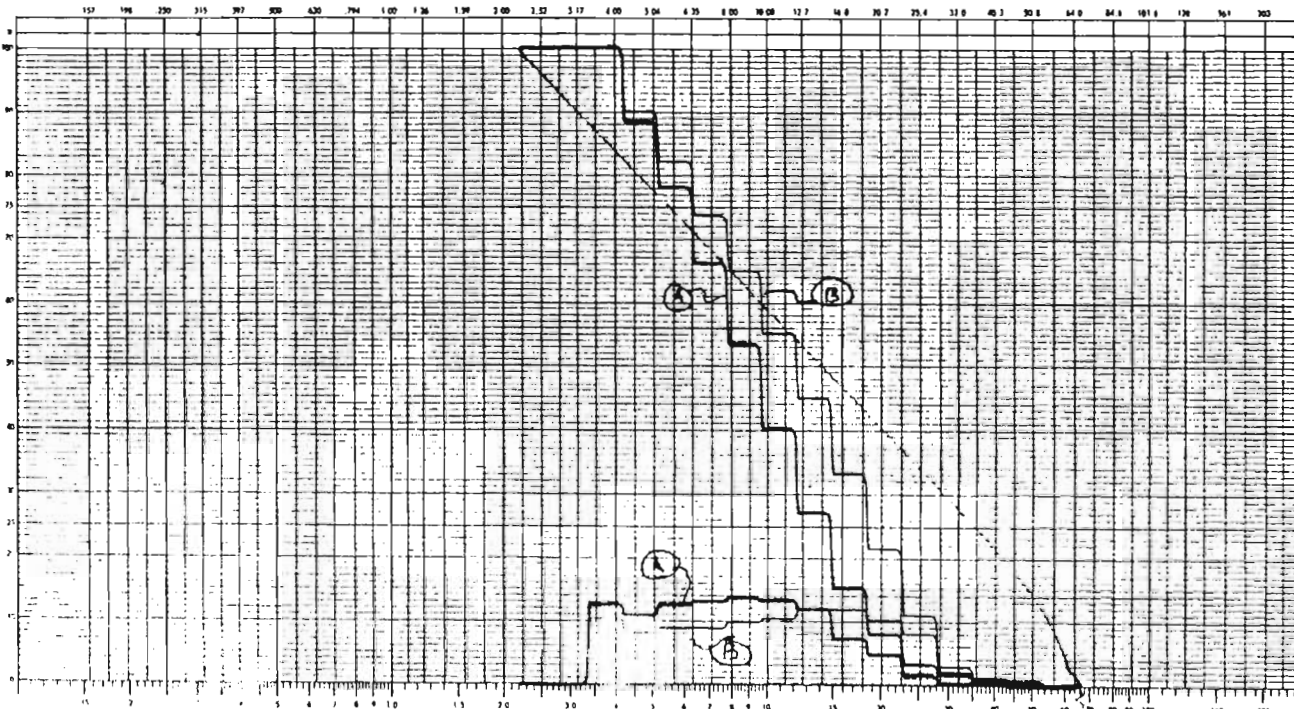
SAMPLE SETTINGS

EQUIPMENT

APPR. SIZE	SERIAL	PART DIA.	W	Δ SA	A	DIA.	W	Δ SA	A
140 μ									

SAMPLE: BLAINE 4149 cm²/g
 ELECTROLYTE: _____
 DISPERSANT: _____

A 131475
 B 166015



MICRON DIAMETER Log Scale



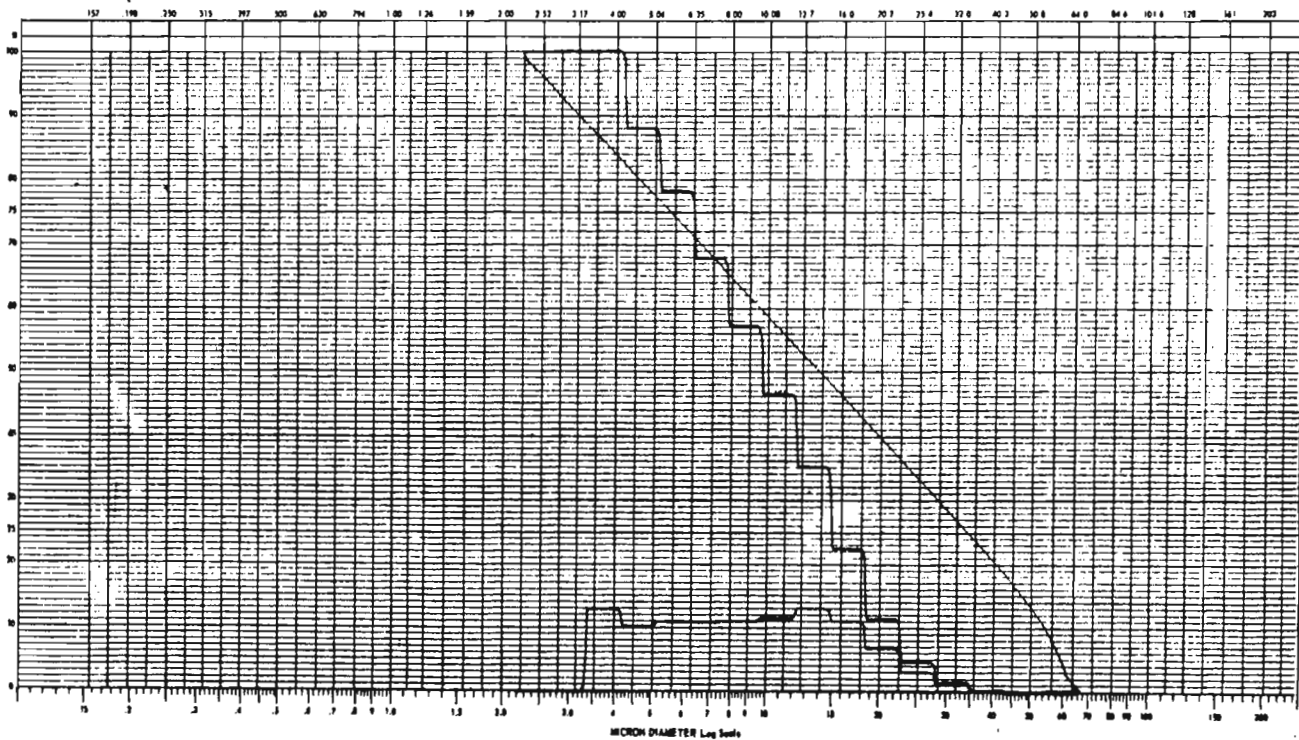
COULTER COUNTER® Model T

PARTICLE SIZE ANALYSIS

15 - 200 -
5 PERCENT

COULTER ELECTRONICS INC.
440 W 20 ST.
HALEAM, FLA. 33010

ORGANIZATION		$V = d \sqrt{\frac{2V}{A}}$		$\frac{d_1}{d_2} = \left(\frac{d_1}{d_2}\right)^3$ when $W_1 = W_2$		SAMPLE SETTINGS					
OPERATOR		APER. SIZE	SERIAL	PARTY	W	A SA	A	WGA	F	S SA	A
EQUIPMENT		SAMPLE	ELECTROLYTE	DISPERSIANT	140H						
		173153	BLANE 4 14.5 gm ² /g								





COULTER COUNTER® Model T

PARTICLE SIZE ANALYSIS

COULTER ELECTRONICS INC.
19 - 390 W.
300 N 30 ST.
MILWAUKEE WIS 53210

DEFINITION

OPERATOR

EQUIPMENT

$$k = d \sqrt{\frac{2V}{A}}$$

$$\frac{A_2}{A_1} = \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^3 \text{ when } W_2 = W_1$$

SAMPLE SETTINGS

SAMPLE
125139

BLAINE A145 am²/g

ELECTROLYTE

DISPERGENT

APERT. SIZE

140 μ

SERIAL

PART DIA.

W

A CA

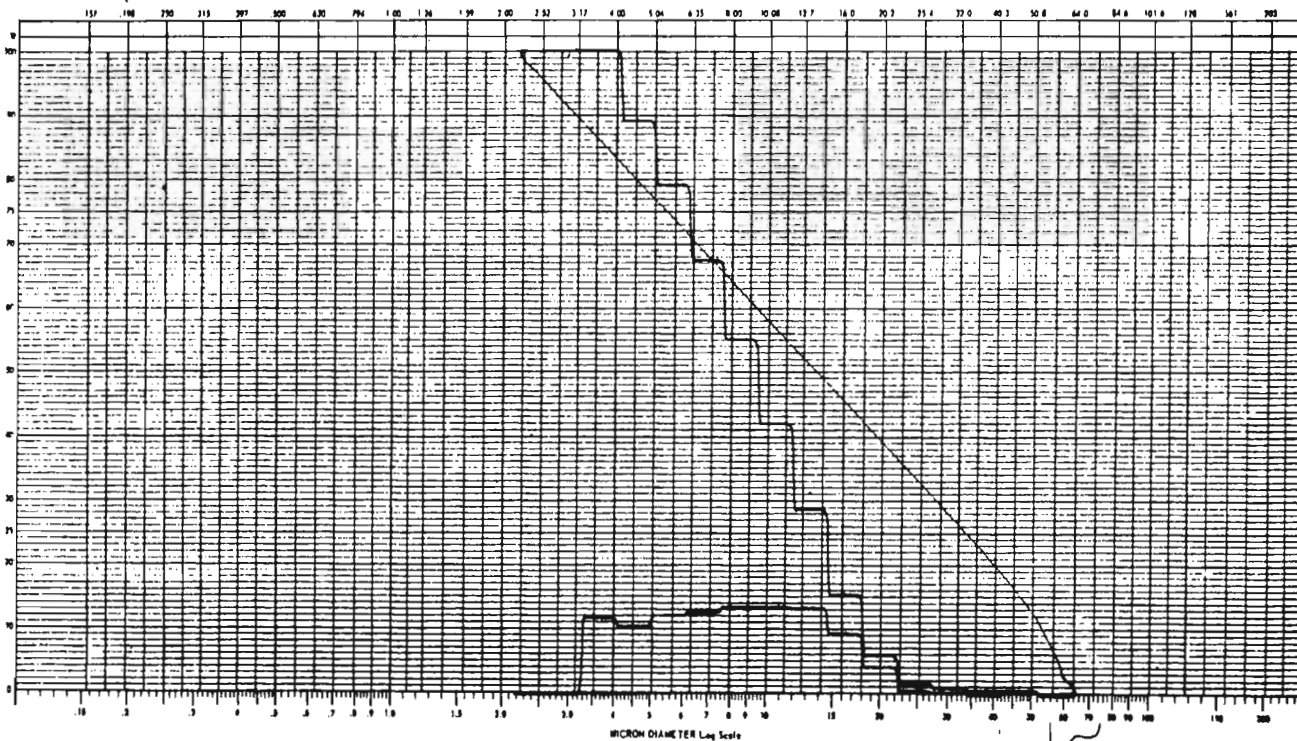
A

TIME

V

A SA

A



T A B L A A.3

Distribución de partículas de 3.17 a 64 micrones del cemento con superficie específica de 4533 cm²/g utilizando un tubo de apertura de 140 micrones.

		CONTEO TOTAL								
CANAL	DIAMETRO	165375	161519	169985	199077	188561	159277	152297	157475	158521
	MICRONES	DISTRIBUCION EN PORCENTAJE								
1	2.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	2.52	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	3.17	12.5	10.7	7.5	15.5	8.1	5.3	5.5	5.3	6.3
4	4.00	12.7	10.1	7.5	12.9	7.1	5.5	5.7	5.5	6.7
5	5.04	14.5	10.5	9.1	14.9	9.1	6.9	6.9	7.1	8.5
6	6.35	14.3	10.3	9.7	13.9	10.5	7.7	8.1	8.5	9.9
7	8.00	13.5	9.9	10.5	13.5	10.7	9.1	9.5	9.9	11.7
8	10.08	10.5	9.9	11.1	12.3	11.3	9.9	10.9	10.7	12.3
9	12.70	10.1	10.1	12.1	10.3	12.7	12.1	12.8	11.9	13.7
10	16.00	5.9	10.5	11.7	6.3	11.9	13.1	13.8	13.7	13.3
11	20.20	4.5	10.3	11.3	2.3	10.3	12.5	13.4	13.5	11.3
12	25.40	1.7	5.9	7.5	0.0	5.9	10.3	10.1	9.3	5.5
13	32.00	0.0	2.9	3.3	0.0	3.5	6.1	2.9	3.9	1.5
14	40.30	0.0	0.5	0.0	0.0	0.3	2.5	0.3	0.0	0.0
15	50.80	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0
16	64.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	2.3	0.3



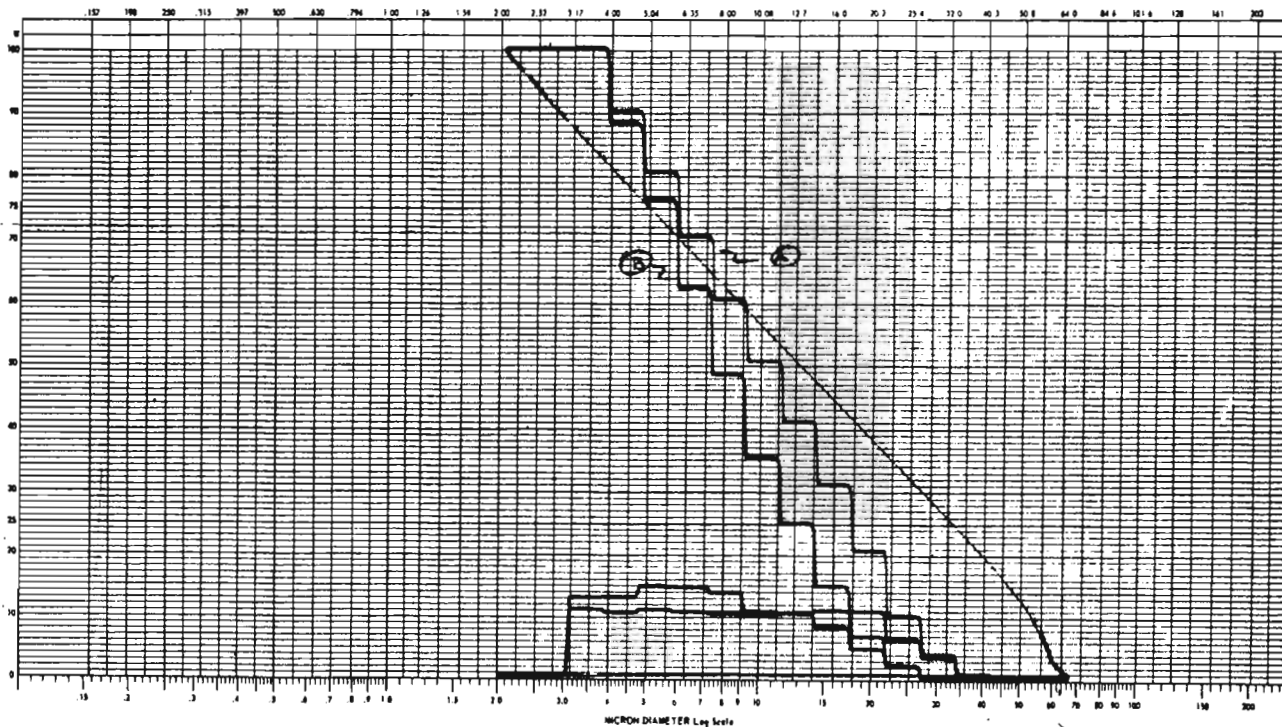
COULTER COUNTER® Model T

PARTICLE SIZE ANALYSIS

15 - 200 μ
1 PERCENT

COULTER ELECTRONICS INC.
390 W 30 ST.
MILWAUKEE, WIS. 53210

DECONTAMINATION				$V = d \sqrt{\frac{2T}{A}}$		$\frac{\Delta V}{\Delta T} = \left(\frac{dV}{dT}\right)^2$ where $W_2 = W_1$		SAMPLE SETTINGS							
OPERATOR															
EQUIPMENT		APER. SIZE		SERIAL				PART DIA.		W		Δ SA		A	
SAVED BLANK 4535 cm ³ /g		ELECTROLYTE		DISPERGANT		140									
NA 165875															
B 161819															





COULTER COUNTER® Model T

PARTICLE SIZE ANALYSIS

15 - 300 μm
1 PERCENT

COULTER ELECTRONICS INC.
990 W 30 ST.
MIAMI BEACH, FLA. 33139

REGISTRATION

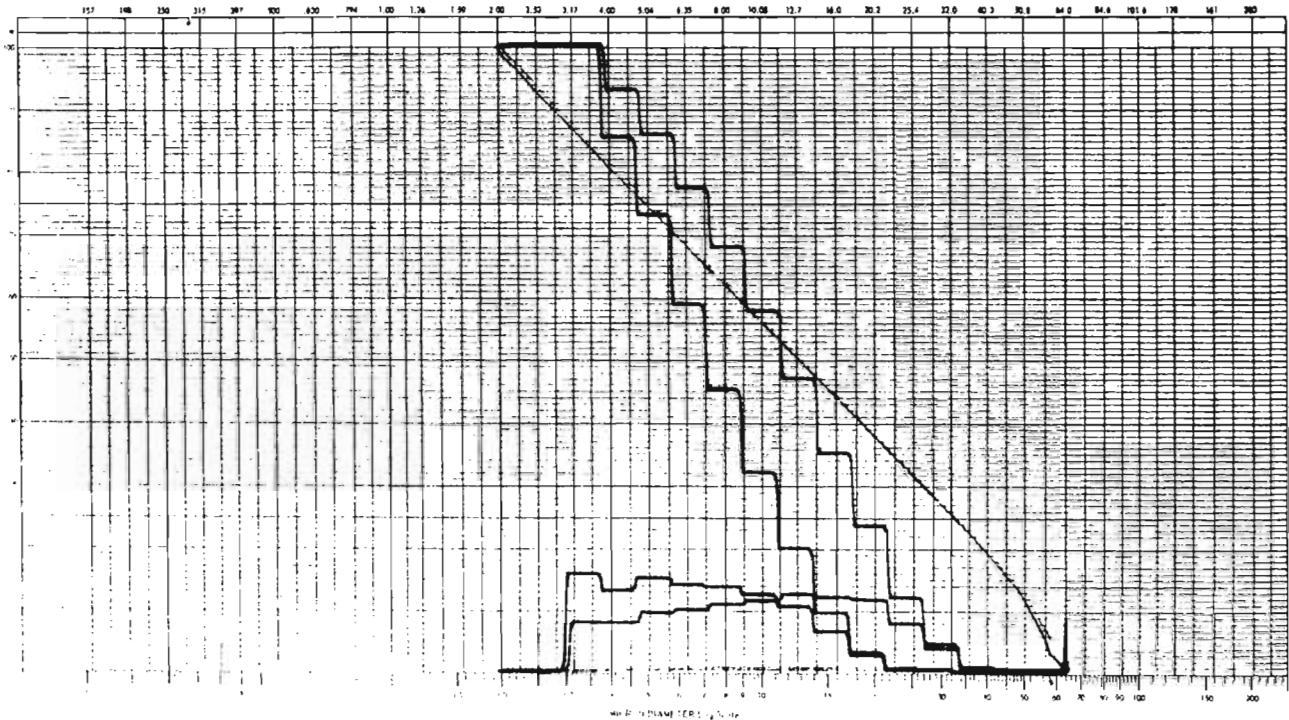
APPLICATION

EQUIPMENT

$v = d \sqrt{\frac{2V}{\pi}}$
 $\frac{d_1}{d_2} = \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^2$ where $v_1 = v_2$

SAMPLE SETTINGS

SAMPLE	ELECTROLYTE	DISPERANT	APPR. SIZE	SERIAL	PART													
					NO.	W	Δ LA	Δ	NO.	W	Δ LA	Δ						
BLAINE 4533			140															
A 199077																		
B 169985																		



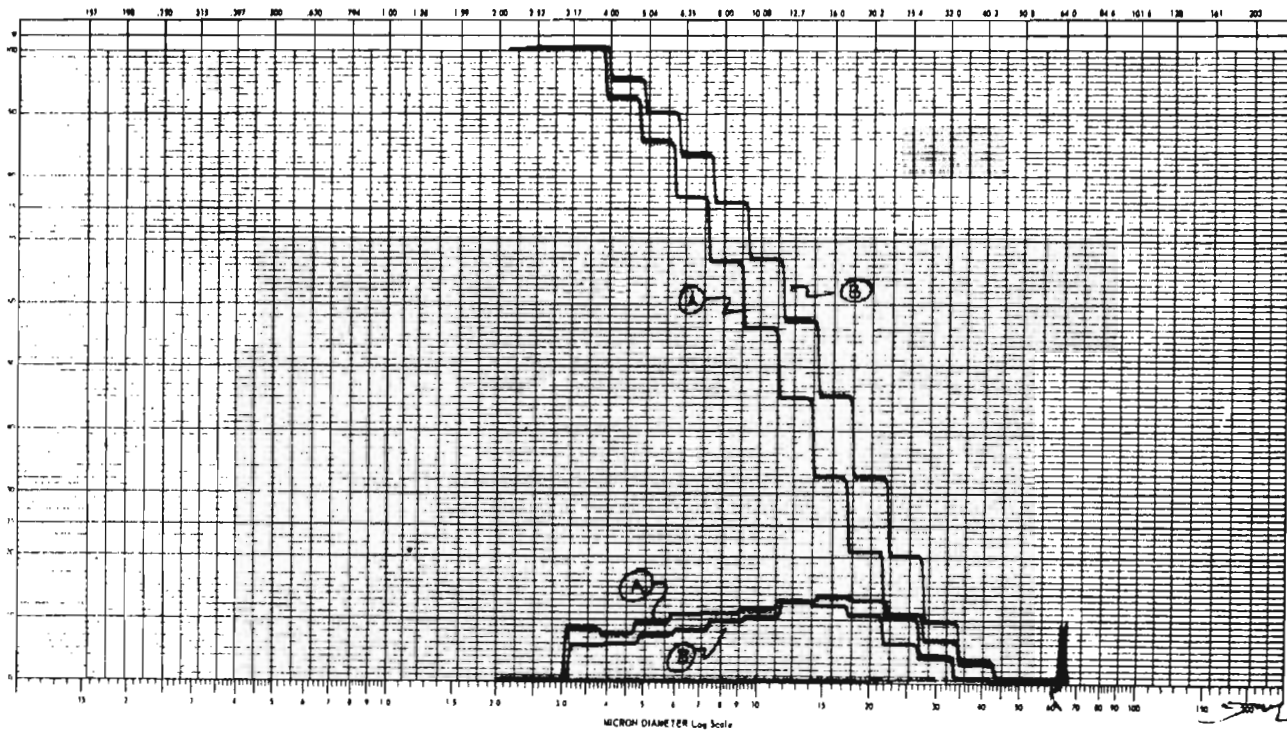


COULTER COUNTER® Model T

PARTICLE SIZE ANALYSIS

COULTER ELECTRONICS INC
990 W 30 ST.
MILWAUKEE, WIS. 53219

OCCASION		$v = d \sqrt{\frac{F}{2}}$		$\frac{A_1}{A_2} = \left(\frac{d_1}{d_2}\right)^3$ when $D_2 = D_1$		SAMPLE SETTINGS							
OPERATOR		APPR. SIZE		SERIAL		PAET DIA.	W	A SA	A	PA.	W	A SA	A
EQUIPMENT		ELECTROLYTE		DISPERANT									
SAMPLE NAME 4533 cont'd		140 μ											
A 19861													
B 199277													





COULTER COUNTER® Model T

PARTICLE SIZE ANALYSIS

15 - 100 μ
5 PERCENT

COULTER ELECTRONICS INC.
340 W 20 ST
HIALSBAM FLA. 32010

ORGANIZATION

OPERATOR

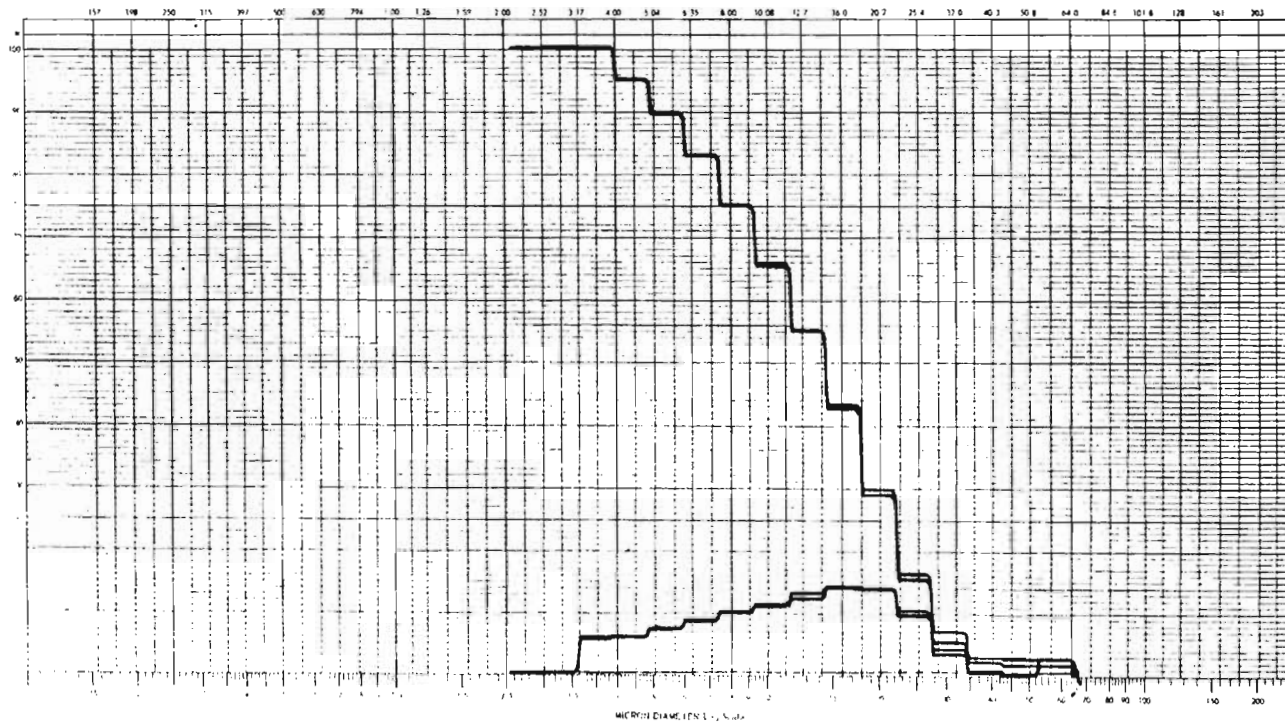
EQUIPMENT

$$x = d \sqrt{\frac{2V}{A}}$$

$$\frac{\Delta Z}{\Delta t} = \left(\frac{dV}{dt}\right)^3 \text{ when } W_2 = W_1$$

SAMPLE SETTINGS

SAMPLE		ELECTROLYTE	DISPERSANT	APERTURE SIZE	SERIAL	PART DIA.	W	Δ IA	A	DIA.	W	Δ IA	A
A	BLAINE 1533 cm ³ /g			140 μ									
B	152297												
	15E475												



COULTER COUNTER® Model T

PARTICLE SIZE ANALYSIS

COULTER ELECTRONICS INC.
115 - 280 -
K PERCENT
390 W 20 ST.
MILWAUKEE, WIS. 53310

REGISTRATION

OPERATOR

EQUIPMENT

$$V = d \sqrt{\frac{2T}{A}}$$

$$\frac{\Delta V}{\Delta T} = \left(\frac{dV}{dV}\right)^2 \text{ when } W_2 = W_1$$

SAMPLE SETTINGS

SAMPLE **BIAXINE 1533 cm²/g** ELECTROLYTE
157A75

DISPERGENT

APER. SIZE
140 μ

SERIAL

PART DIA.

W

\pm SA

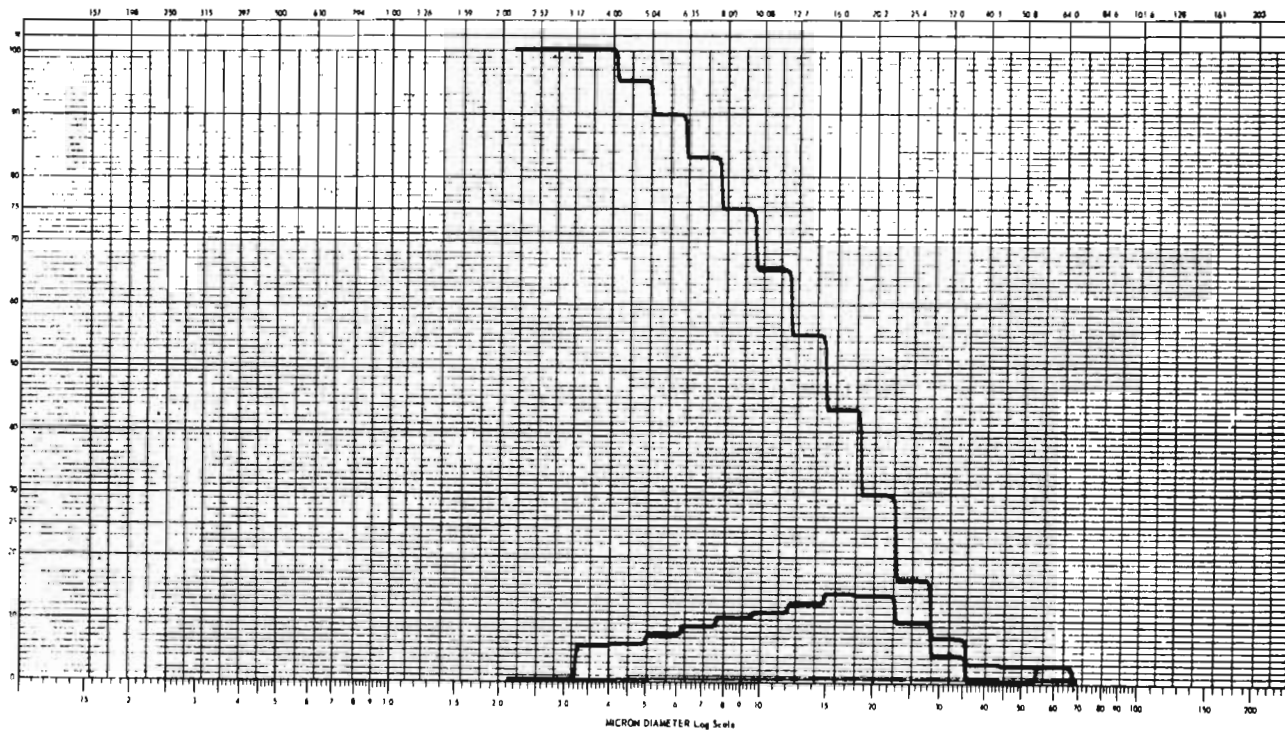
A

DIA.

W

\pm SA

A





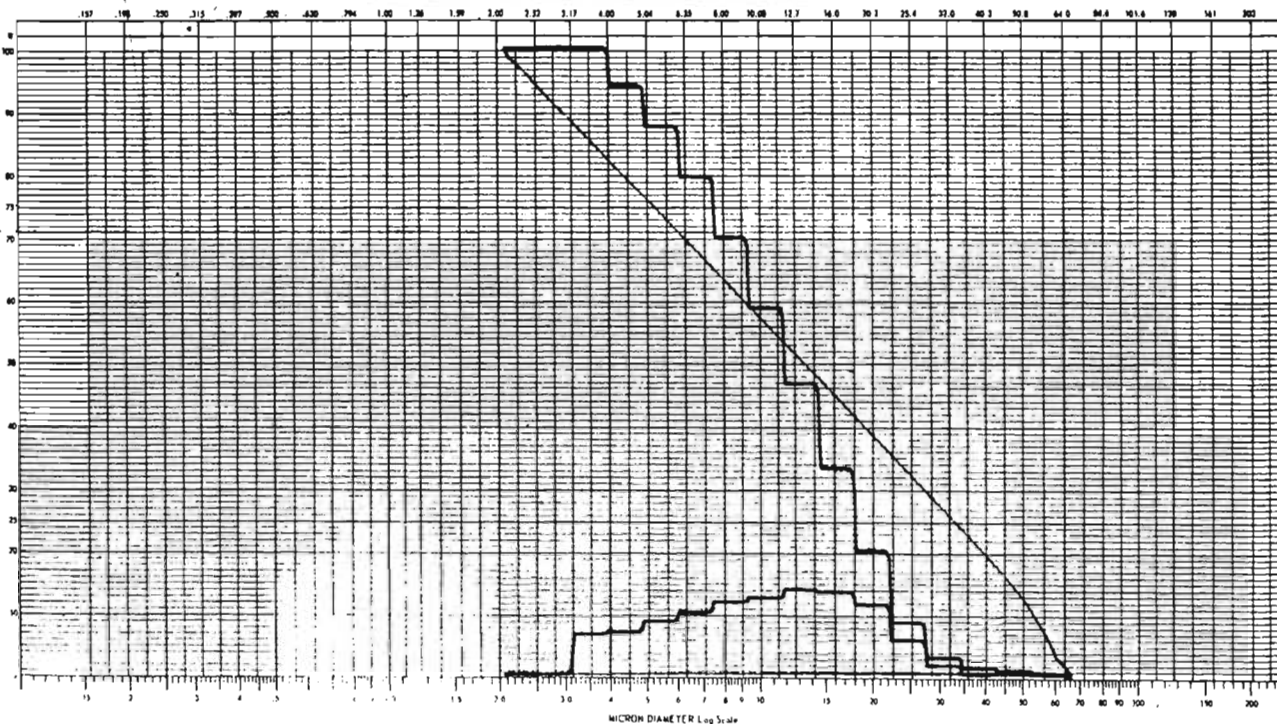
COULTER COUNTER Model T

PARTICLE SIZE ANALYSIS

.10 - 300 μ
% PERCENT

COULTER ELECTRONICS INC.
PO BOX 30 ST.
MILLERS, FLA. 32048

DISAGREEMENT		$d = \sqrt{\frac{V}{A}}$		$\frac{A_2}{A_1} = \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^2$ when $\rho_2 = \rho_1$		SAMPLE SETTINGS							
OPERATOR		APERT. MM	SERIAL			FLAT	V	A SA	A	SM	V	A SA	A
EQUIPMENT		DISPERANT	140M										
SAMPLE		ELECTROLYTE											
BLAINE 4533 cm ² /g													
158521													

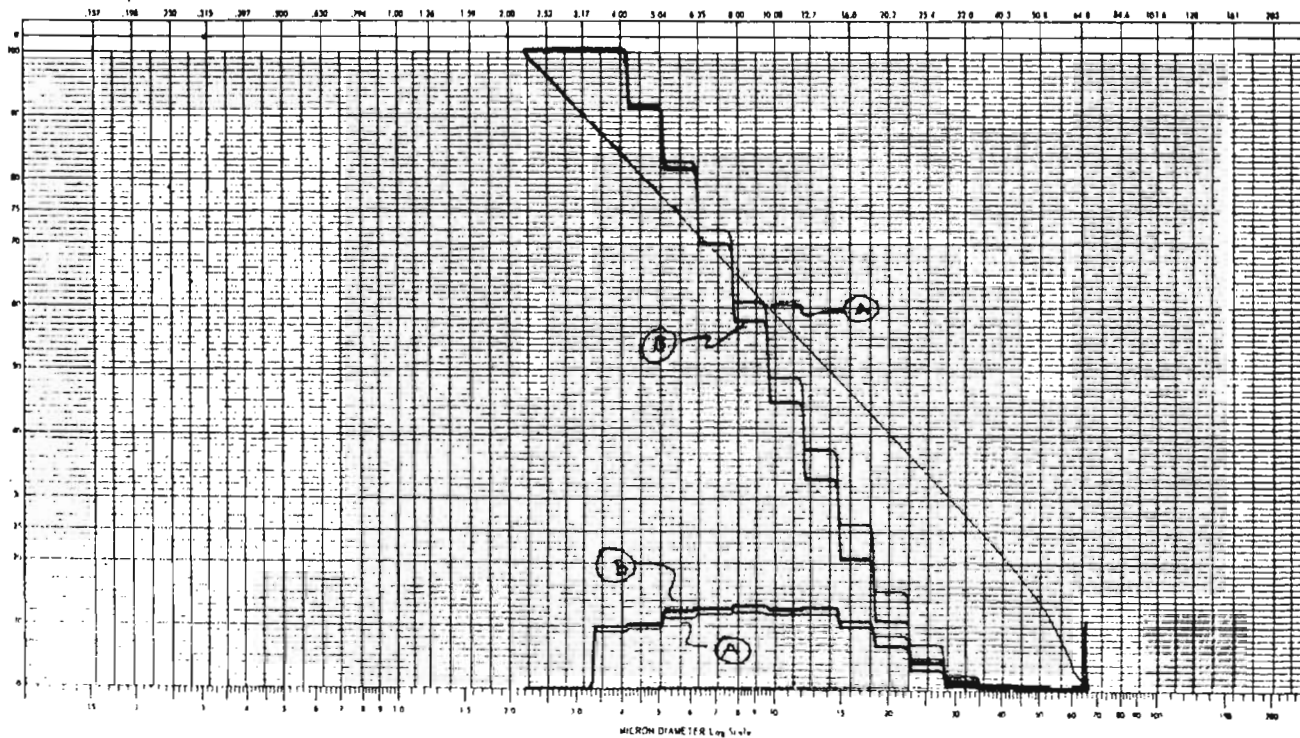


T A B L A A.4

Distribución de partículas de 3.17 a 64 micrones del cemento con superficie específica de 5084 cm²/g utilizando un tubo de apertura de 140 micrones.

		CONTERO TOTAL									
CANAL	DIAMETRO	174637	170351	170699	168589	164957	161471	169693	165801	146601	137449
	MICRONES	DISTRIBUCION EN PORCENTAJE									
1	2.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	2.52	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	3.17	8.9	9.7	8.7	9.7	7.7	10.1	8.7	7.3	10.3	9.9
4	4.00	9.3	10.1	9.5	10.3	7.9	9.5	8.7	7.9	9.7	13.5
5	5.04	11.1	12.1	11.3	12.3	10.1	11.7	10.7	9.9	11.7	8.3
6	6.35	11.7	12.5	11.9	12.5	10.7	12.5	11.3	10.9	12.5	8.7
7	8.00	12.1	12.9	12.5	12.7	11.3	12.7	12.3	11.9	12.9	10.5
8	10.08	11.5	12.3	12.3	12.5	11.5	12.5	12.9	12.9	12.5	10.9
9	12.70	11.7	12.7	12.7	13.1	13.1	13.5	12.9	15.3	12.7	12.5
10	16.00	10.5	9.5	11.1	10.1	11.3	10.3	12.3	12.7	10.1	11.9
11	20.20	8.3	6.5	7.3	6.1	10.5	6.3	7.5	6.9	6.3	8.9
12	25.40	4.7	2.7	2.9	1.9	5.3	2.4	2.7	2.5	2.7	5.7
13	32.00	1.3	0.3	0.7	0.1	2.1	2.1	0.5	0.3	0.5	0.9
14	40.30	0.5	0.1	0.5	0.1	0.1	0.3	0.1	0.7	0.1	0.1
15	50.80	0.1	0.3	0.1	0.1	0.1	0.3	0.7	1.5	0.3	0.1
16	64.00	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.5	0.1	0.1

OPERATION		$1 - 4 \sqrt{\frac{V_2}{V_1}}$		$\frac{d_2}{d_1} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{1/4}$ when $W_2 = W_1$		SAMPLE SETTINGS					
OPERATOR		APPR. SIZE	SERIAL	PART No.	W	d SA	A	DR.	W	d M	A
EQUIPMENT		DISPERGENT	140M								
SAMPLE		ELECTROLYTE									
A 174637											
B 170261											

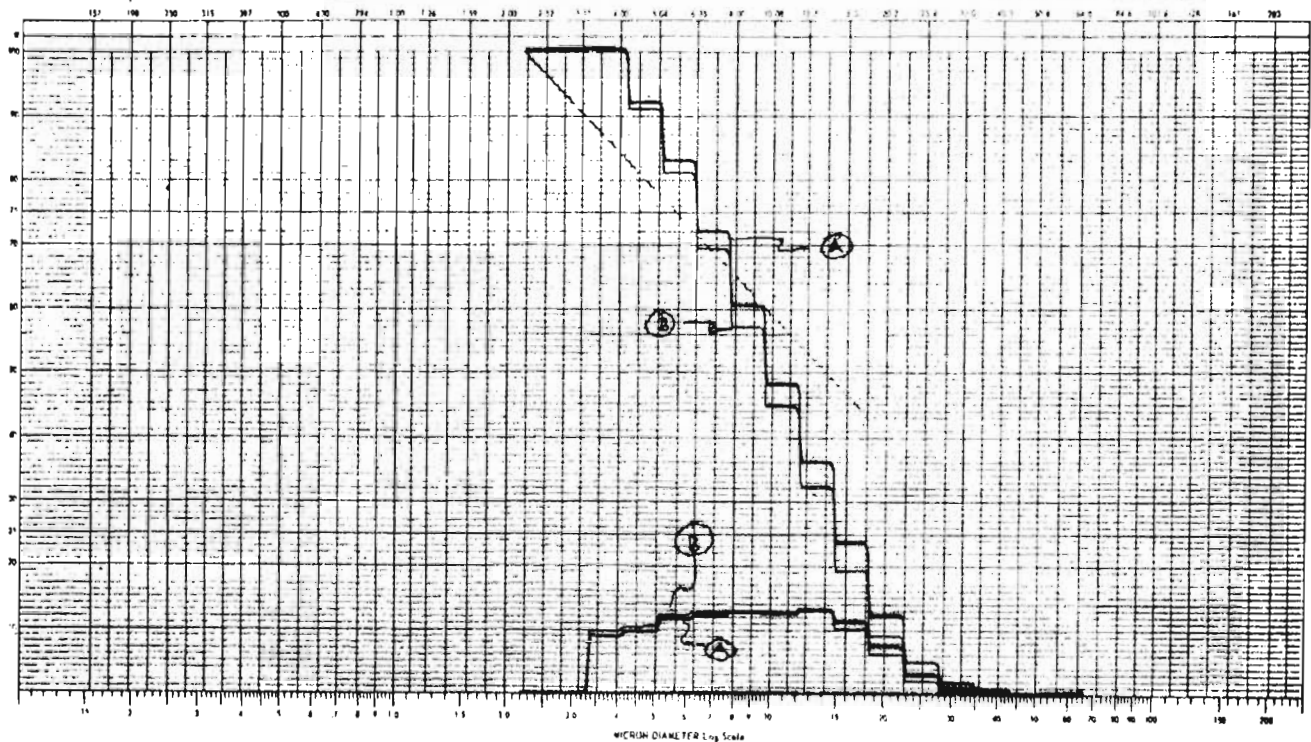


COULTER COUNTER® Model T

PARTICLE SIZE ANALYSIS

Coulter Electronics Inc.
 840 N. 20 St.
 Fullerton, CA 92630

OPERATOR		APPR. SIZE		SERIAL		SAMPLE SETTINGS							
EQUIPMENT		DISPERGENT		ELECTROLYTE		POST DIA.	Y	ISIA	A	DNA	W	ISIA	A
SAMPLE		BLAINE 5084 cm ² /g											
A	170699												
B	169589												

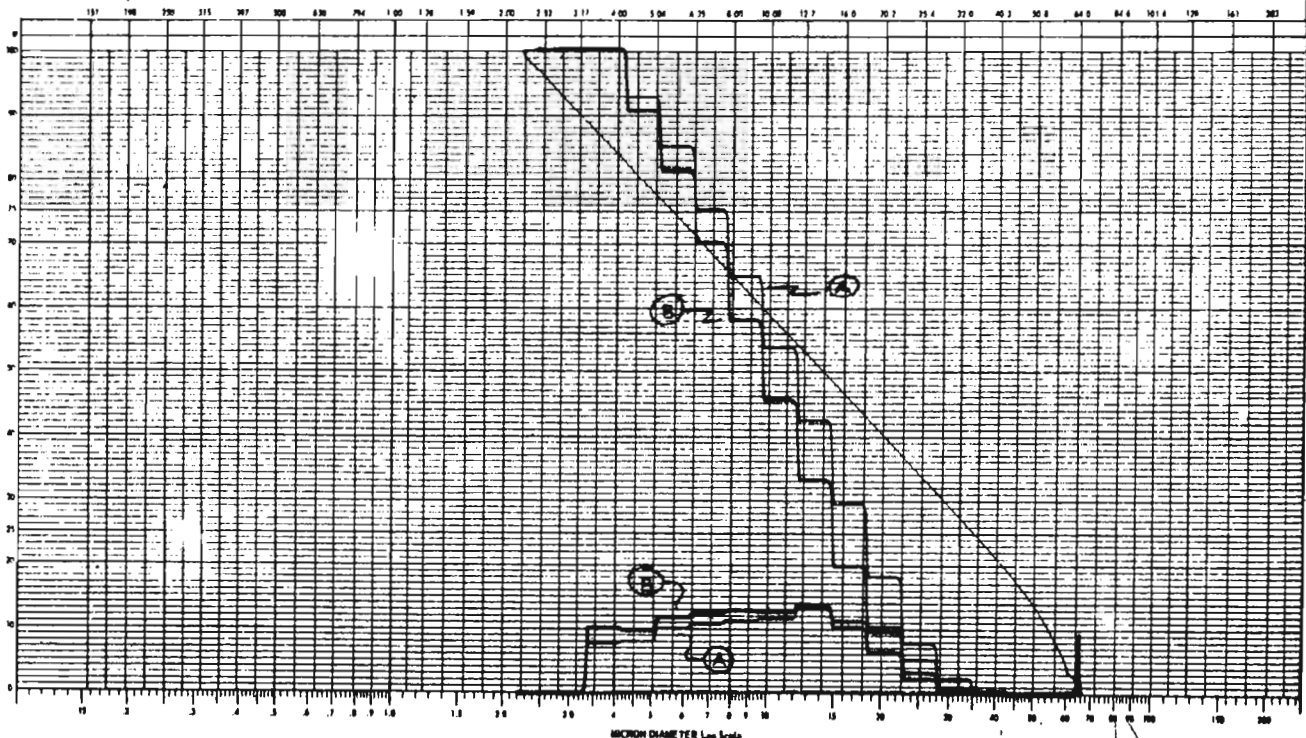


COULTER COUNTER® Model T

PARTICLE SIZE ANALYSIS

COULTER ELECTRONICS INC.
200 W 20 ST.
MILWAUKEE, WIS. 53212

PREPARATION		$V = d \sqrt{\frac{2r}{A}}$		$\frac{d_1}{d_2} = \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^{1/2}$ when $W_1 = W_2$		SAMPLE SETTINGS							
OPERATOR		APPROX SIZE		SERIAL		PART DIA.	W	S SA	A	DIA.	W	S SA	A
EQUIPMENT		ELECTROLYTE		DISPERGENT									
SAMPLE	BLAINE 508.9 cm ² /g			140H									
A	161957												
B	161471												



MICRON DIAMETER Log Scale



COULTER COUNTER® Model T

PARTICLE SIZE ANALYSIS

COULTER ELECTRONICS INC.
390 W 38 ST.
HACKENSACK, N.J. 07601

OPERATION

EQUIPMENT

SAMPLE

A
B

BLAINE GOR4 cm²/g

169693
165801

DISPERSANT

APPR. SIZE

140M

SERIAL

PART

NO.

V

Δ 1A

A

Δ 2A

A

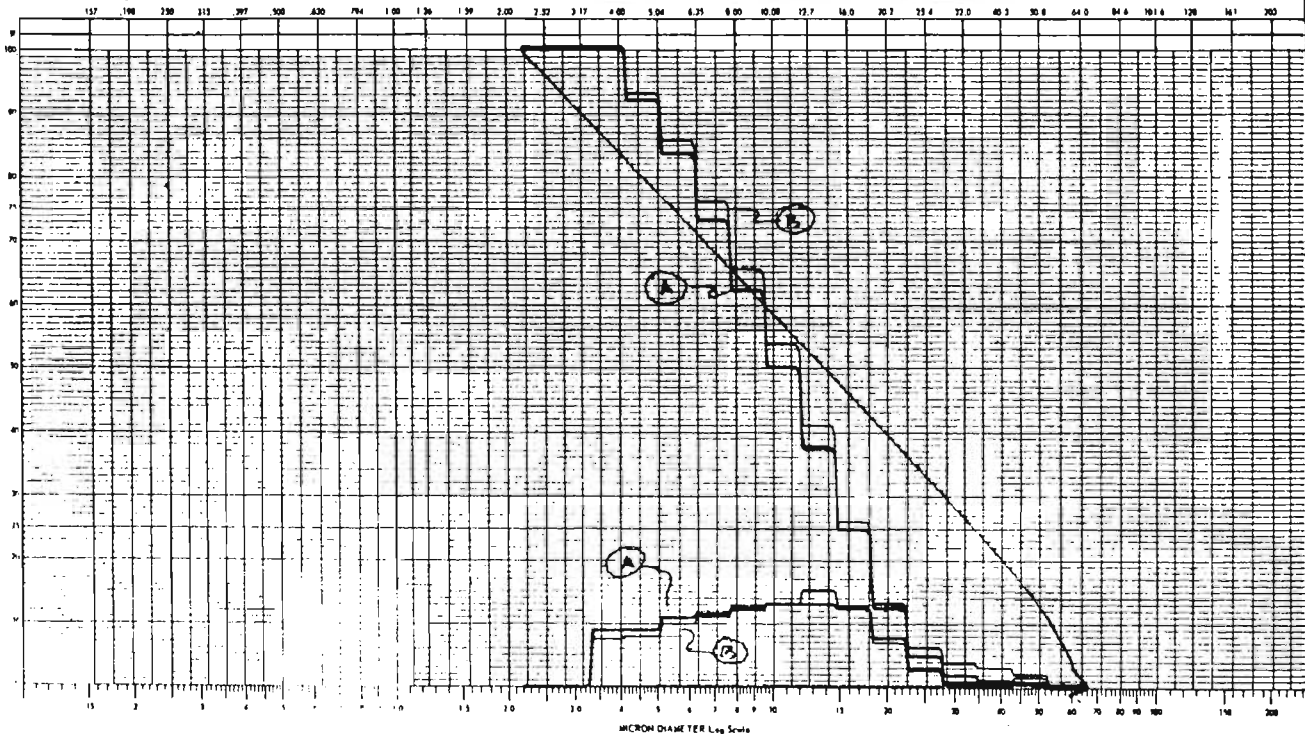
Δ 3A

A

$$1 - d \sqrt{\frac{F}{2}}$$

$$\frac{\Delta_1}{\Delta_2} = \left(\frac{d_1}{d_2}\right)^3 \text{ where } d_1 = d_2$$

SAMPLE # 1611006



MICRON DIAMETER Log Scale



COULTER COUNTER® Model T

PARTICLE SIZE ANALYSIS

15-200-
Z PERCENT

COULTER ELECTROPHICS INC
398 W 25 ST
MILWAUKEE, WIS. 53212

OPERATION

$$V = \sqrt{\frac{W}{A}}$$
$$\frac{dV}{dL} = \left(\frac{dV}{dL}\right)^2 \text{ where } W = W_1$$

SAMPLE SETTINGS

EQUIPMENT

SAMPLE
BLANK 5084 cm²/g
166601

ELECTROLYTE

DISPERGANT

APERTURE SERIAL
1404

PART DIA.

W

Z IA

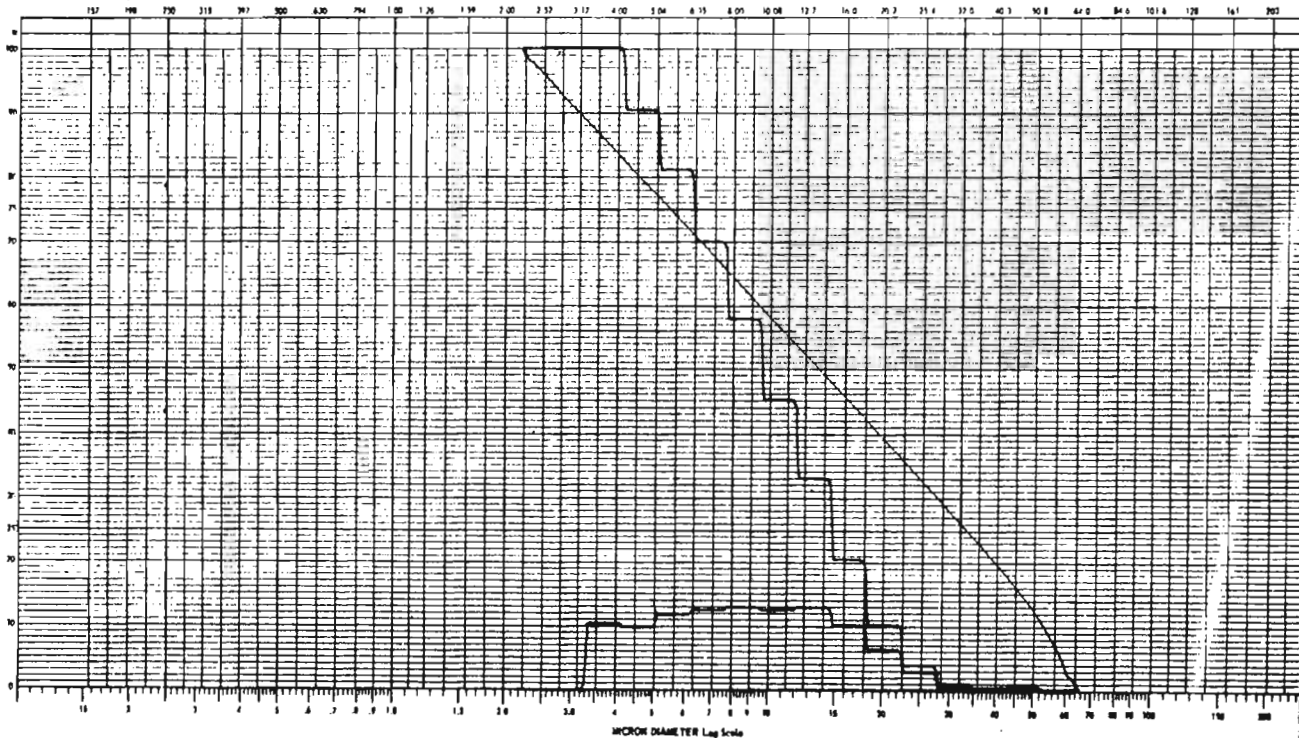
A

DIA.

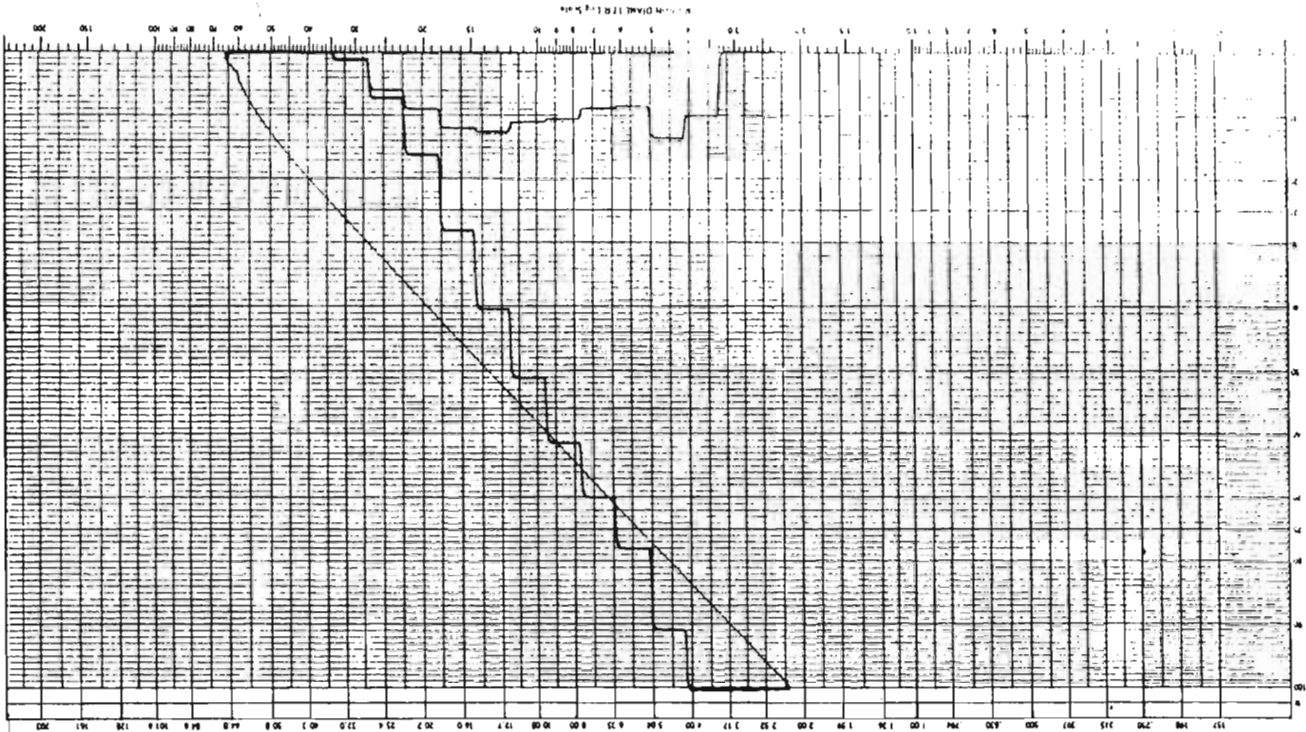
W

Z IA

A



0-11729



COULTER COUNTER Model 1 15 - 288A 988 - 20 11 COULTER ELECTRONICS INC. MAKEUP FLA. 1288		PARTICLE SIZE ANALYSIS $d_p = d \sqrt{\frac{V}{V_0}}$ $d_p = d \left(\frac{V}{V_0} \right)^{1/2}$ where $d_p = 91$		SAMPLE SETTINGS PART 0 DIA. 0 FLTA 0 DIA. 0 0.5M 0 A	APPR. SIZE SERIAL 140	MODEL ELECTRONICS BLANK 5084 137449	IDENTIFICATION OPERATION EQUIPMENT
--	--	---	--	--	--------------------------	--	--

T A B L A A.5

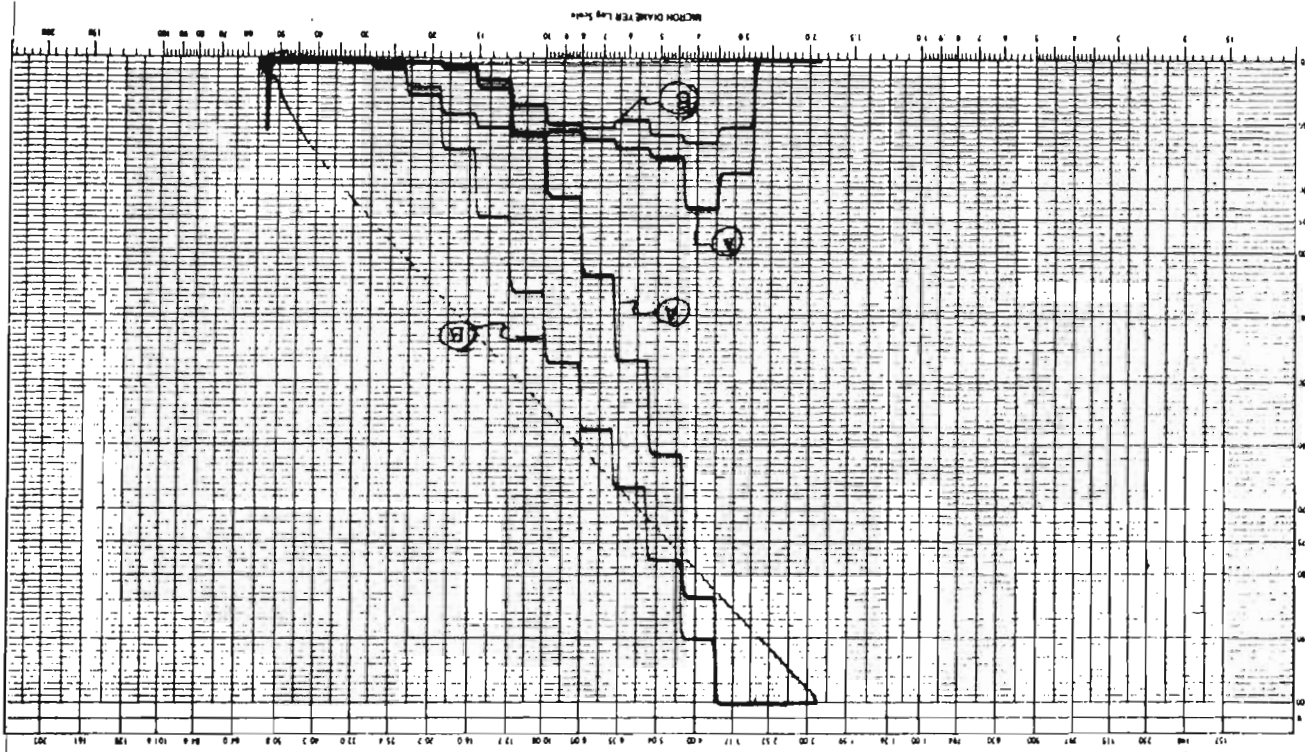
Distribución de partículas de 3.17 a 64 micrones para una mezcla de cemento con superficie específica de 4180 cm²/g, utilizando un tubo de apertura de 140 micrones (valores en %).

CANAL	DIAMETRO MICRONES	CONTEO TOTAL							
		210813	235293	211049	184237	226611	174493	176849	205137
		DISTRIBUCION DE PORCENTAJE							
1	2.00	0	0	0	0	0	0	0	0
2	2.52	0	0	0	0	0	0	0	0
3	3.17	18.0	11.0	14.2	5.9	13.0	3.8	3.9	7.9
4	4.00	23.5	13.0	20.0	6.8	17.8	4.2	4.4	12.8
5	5.04	15.5	12.1	11.8	8.9	13.0	6.0	6.1	10.7
6	6.35	14.0	9.7	12.4	10.0	11.1	7.3	7.5	9.3
7	8.00	11.2	11.1	11.9	11.9	12.0	9.8	9.5	11.1
8	10.08	8.6	12.1	10.0	14.0	10.9	11.3	11.8	12.8
9	12.70	5.3	11.0	7.9	13.7	9.0	12.2	12.7	11.9
10	16.00	1.2	8.8	3.3	11.5	4.5	12.6	12.9	9.0
11	20.20	0.9	5.9	1.0	7.4	0.8	11.0	11.2	5.1
12	25.40	0.5	5.0	0.8	3.9	0.1	8.0	8.0	1.9
13	32.00	0.4	1.5	1.2	0.5	0.4	4.1	3.4	0.1
14	40.30	0.1	0.0	0.3	0.3	0.4	3.0	0.1	0.1
15	50.80	0.0	0.0	0.2	0.2	0.4	0.0	0.2	0.4
16	64.00	0.0	0.0	0.3	0.3	0.4	0.0	0.2	0.4

PARTICLE SIZE ANALYSIS

COULTER COUNTER Model 1

<p>REMARKS</p>		<p>OPERATION</p>		<p>LABOR SIZE SERIAL</p>		<p>PART OIL A A.S. A B.C. Y Z OF A</p>		<p>SAMPLE DETAILS</p>	
<p>BLAINE 4180 cm^2/g</p>		<p>210813</p>		<p>140 M</p>		<p>DISPERSEMENT</p>		<p>DATE</p>	
<p>B</p>		<p>235293</p>		<p>140 M</p>		<p>DISPERSEMENT</p>		<p>DATE</p>	



010102



COULTER COUNTER® Model T

PARTICLE SIZE ANALYSIS

15 - 300 μ
2 PERCENT

COULTER ELECTRONICS INC.
300 W 36 ST
HALEAM, FLA. 33010

REGISTRATION

OPERATOR

$$V = d \sqrt{\frac{P}{L}}$$

$$\frac{A_2}{A_1} = \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^3 \text{ where } W_2 = W_1$$

SAMPLE SETTINGS

FOURPRINT

SAMPLE

BLAME 4180 cm²/g

ELECTROLYTE

DISPERSANT

APPR. SIZE
140 μ

SERIAL

PART DIA.

V

Δ SA

Δ

DIA.

V

Δ SA

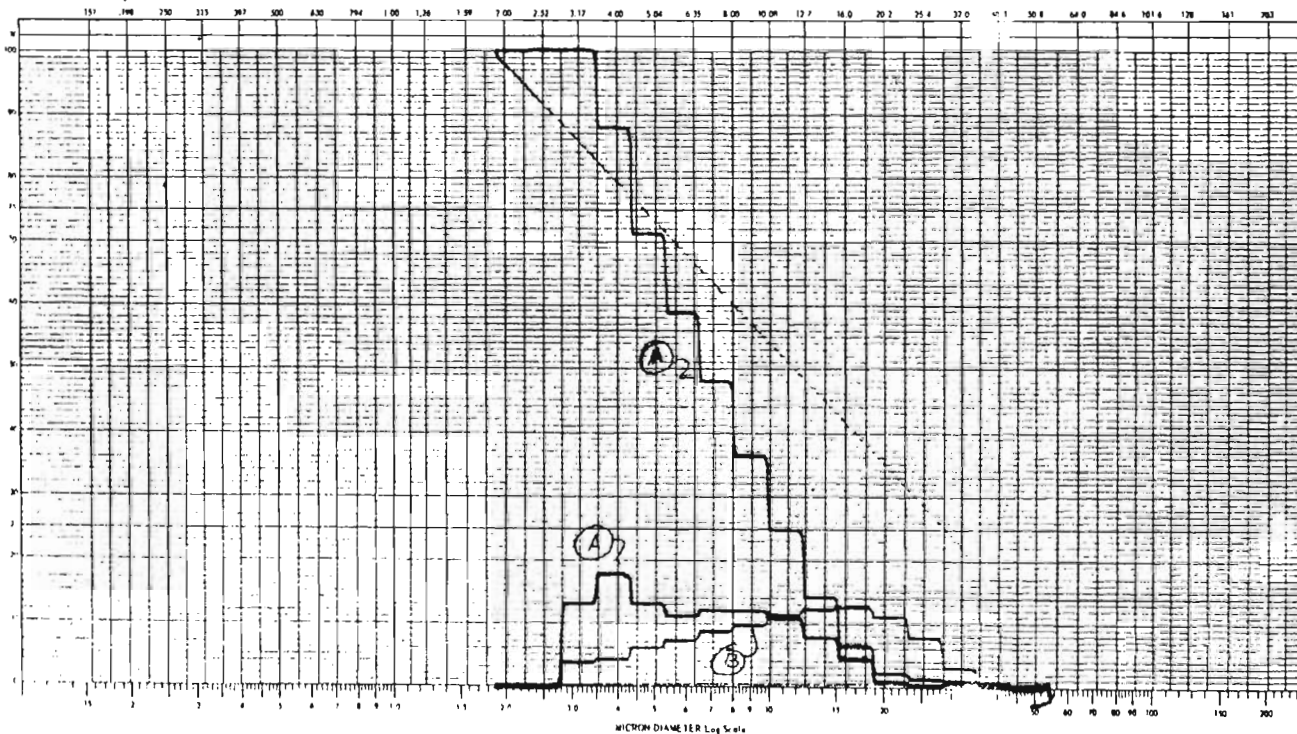
Δ

A

22661

B

174493



MICRON DIAMETER Log Scale



COULTER COUNTER® Model T

PARTICLE SIZE ANALYSIS

15 - 300 μ
2 PERCENT

COULTER ELECTRONICS INC.
300 W 36 ST
HALEAM, FLA. 33010

REGISTRATION

OPERATOR

$$1 - \frac{d}{d_m} \sqrt{\frac{d_m}{d}}$$

$$\frac{d_2}{d_1} = \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^3 \text{ where } W_2 = W_1$$

SAMPLE SETTINGS

FOURPHASE

SAMPLE

BLAINE 4180 cm²/g

ELECTROLYTE

DISPERSANT

APPR. SIZE
140 μ

SERIAL

PART DIA.

V

± SA

A

DIA.

V

± SA

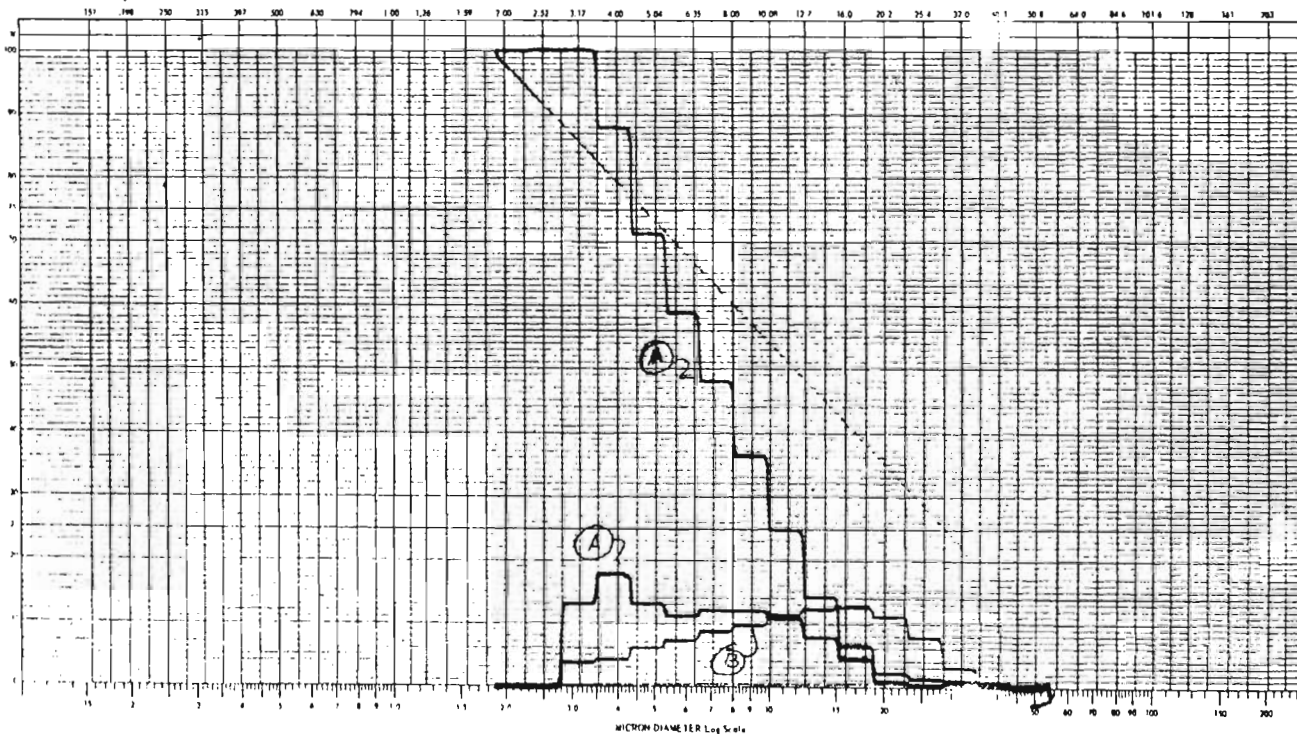
A

A

22661

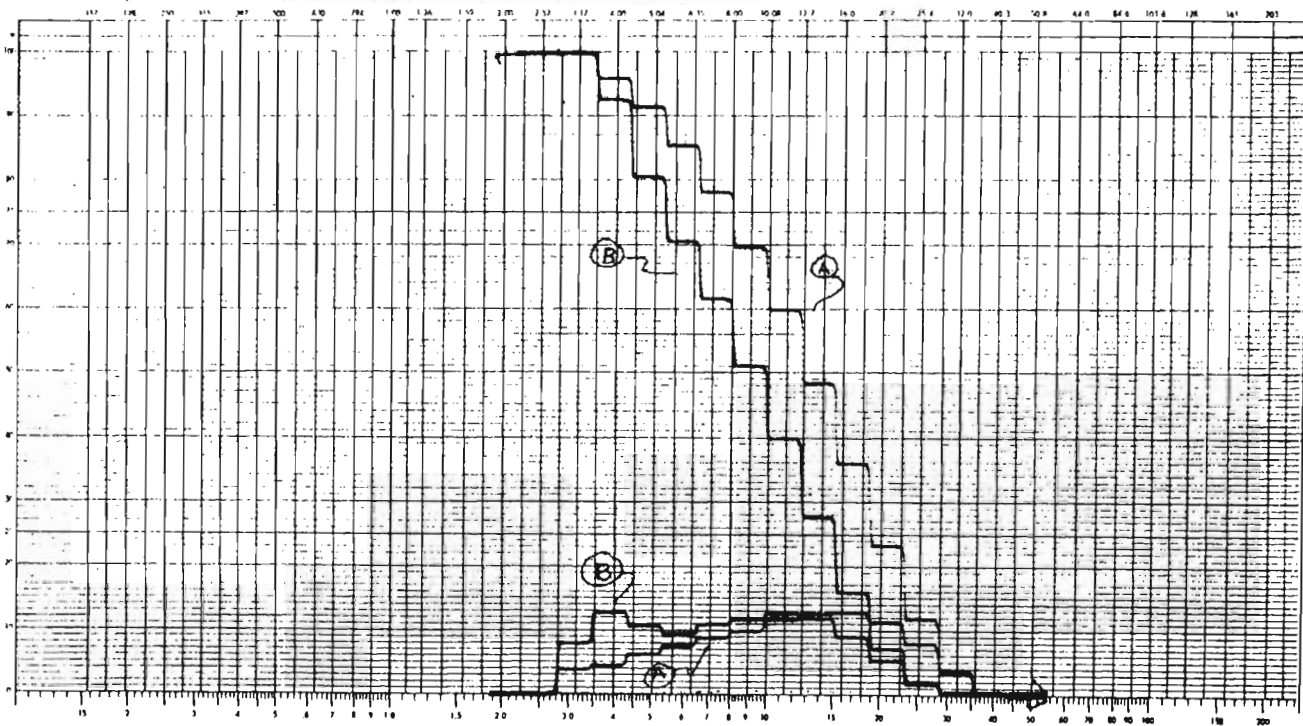
B

174493



MICRON DIAMETER Log Scale

OPERATION		$V = 2 \sqrt{\frac{Q}{A}}$		$\frac{A_2}{A_1} = \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^2$ when $W_2 = W_1$		SAMPLE SETTINGS					
EQUIPMENT		APERTURE	SERIAL	PART DIA	W	SA	A	DIA	W	SA	A
A	SAMPLE BLAINE 1180 cm ² /g 176849	ELECTROLYTE	DIFFERENTIAL	140 M							
B	205137										





COULTER COUNTER Model T

PARTICLE SIZE ANALYSIS

.15 - 300 μ
5 PERCENT

COULTER ELECTRONICS INC.
399 W 96 ST.
MILWAUKEE, WIS. 53215

DESCRIPTION

OPERATOR

EQUIPMENT

$$L = d \sqrt{\frac{V}{A}}$$

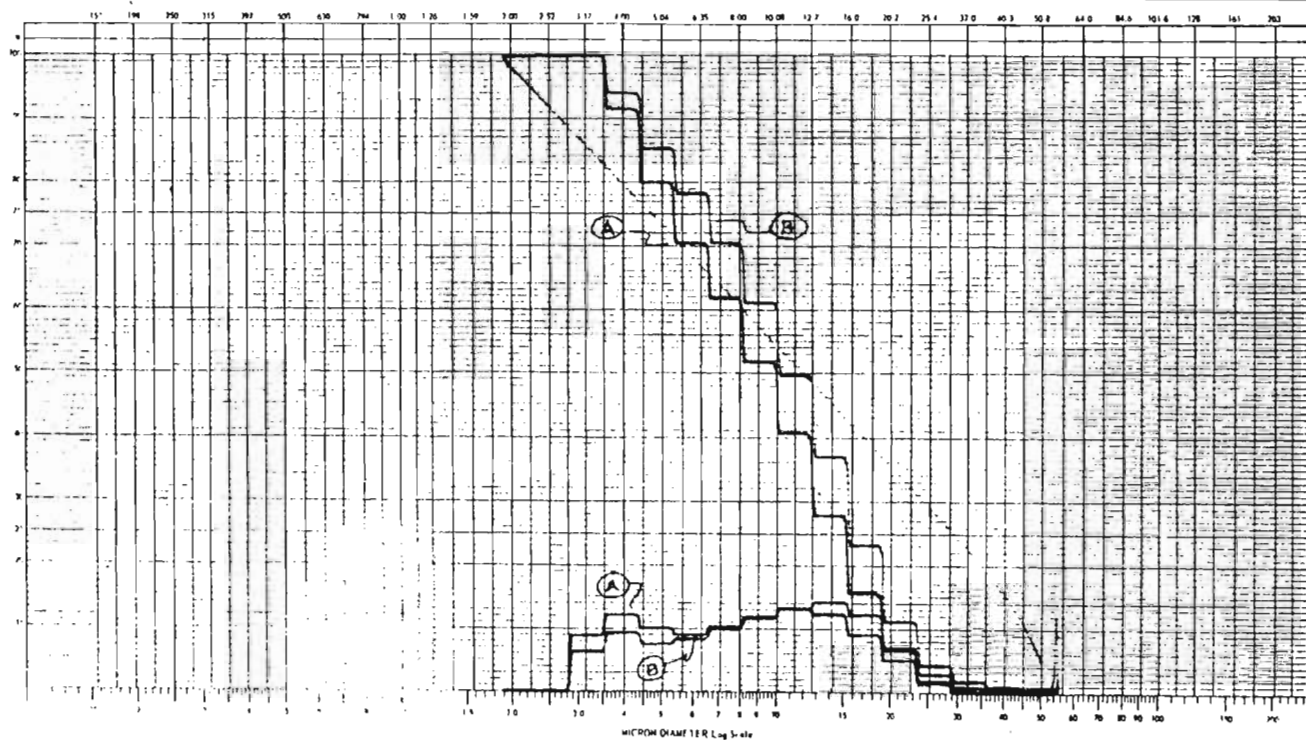
$$\frac{d_2}{d_1} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{1/2} \text{ when } W_2 = W_1$$

SAMPLE SETTINGS

SAMPLE BEAINE 9150 cont'd
 A 213A97
 B 206993

ELECTROLYTE _____
 DISPERSANT _____

APER. SIZE	SERIAL	PART. DIA.	W	d 1A	A	DIA.	W	d 1A	A
140 μ									



E T P L A

Distribución de partículas de 1.26 a 15.4 micrones para la mezcla con superficie de 4180 cm²/g Blaine utilizando un tubo de apertura de 50 milímetros de diámetro.

CONTEO TOTAL									
CANAL	DIAMETRO	349279	342969	331651	328439	312995	293827	328433	318661
	MICRONES	DISTRIBUCION EN PORCENTAJE							
1	.794	0	0	0	0	0	0	0	0
2	1.00	0	0	0	0	0	0	0	0
3	1.26	2.5	2.5	1.0	2.0	1.5	2.0	1.0	1.1
4	1.59	9.0	10.0	5.5	8.0	7.0	7.5	5.5	5.8
5	2.00	7.5	7.9	4.5	6.5	5.9	6.0	4.5	4.8
6	2.50	7.0	8.0	9.5	15.0	12.0	11.9	9.9	11.0
7	3.17	7.9	8.5	8.9	14.9	15.0	14.0	11.9	13.0
8	4.00	7.9	8.0	5.9	8.9	7.9	12.9	6.3	7.3
9	5.04	9.0	10.0	6.9	9.5	8.5	9.0	7.0	7.5
10	6.35	10.5	10.9	7.9	9.5	8.5	9.0	8.0	8.1
11	8.00	10.9	10.5	8.9	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0
12	10.08	10.0	10.0	9.0	7.5	8.5	9.0	9.0	9.0
13	12.70	8.0	8.0	9.0	4.9	6.5	5.9	8.0	8.0
14	16.00	6.5	4.9	9.9	2.9	4.5	3.2	7.0	6.3
15	20.20	3.0	2.5	7.5	0.0	2.9	2.0	5.1	4.1
16	25.40	0.0	0.0	3.0	0.0	0	0	1.9	2.0



COULTER COUNTER® Model T

PARTICLE SIZE ANALYSIS

.15 - 200 μ
% PERCENT

COULTER ELECTRONICS INC.
390 S 30 ST
MILWAUKEE WI 53219

DESCRIPTION

OPERATOR

EQUIPMENT

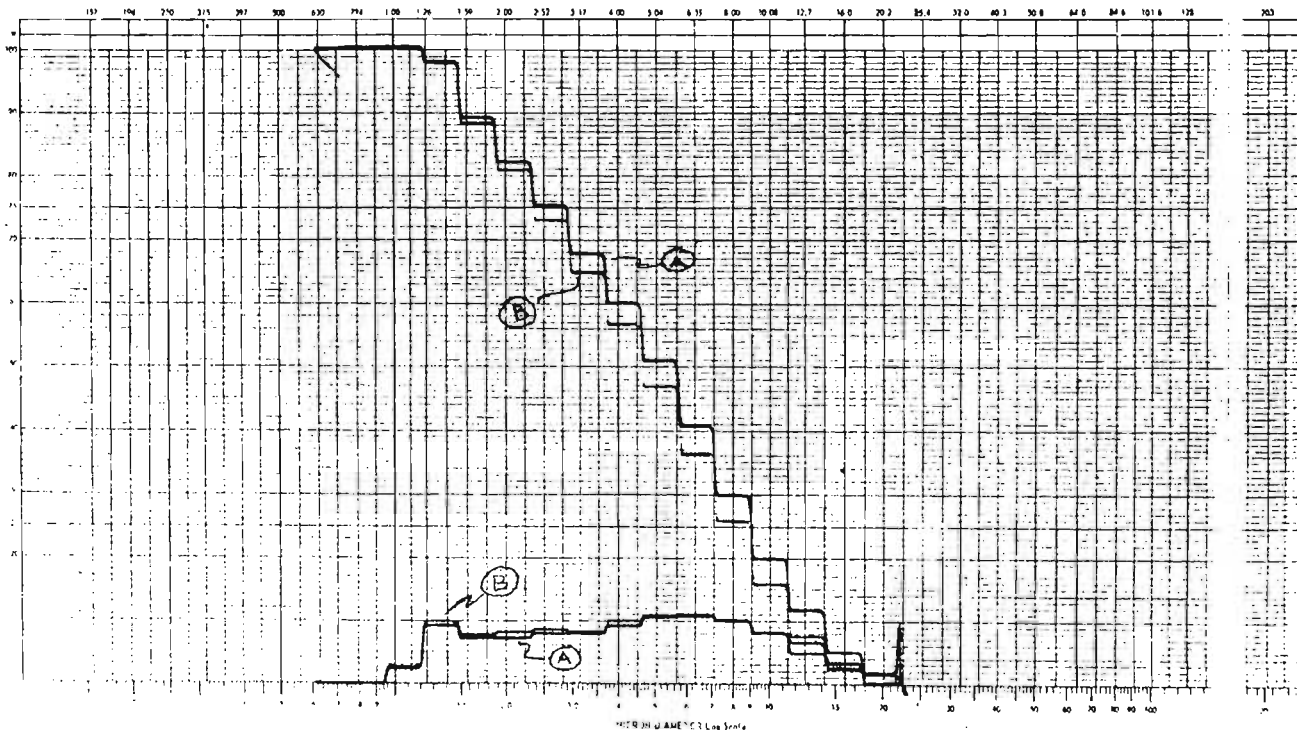
$$k = 1 \sqrt{\frac{V}{A}}$$

$$\frac{\Delta V}{\Delta t} = \left(\frac{d_p}{d_i}\right)^3 \text{ where } V_2 = V_1$$

SAMPLE #

TIME

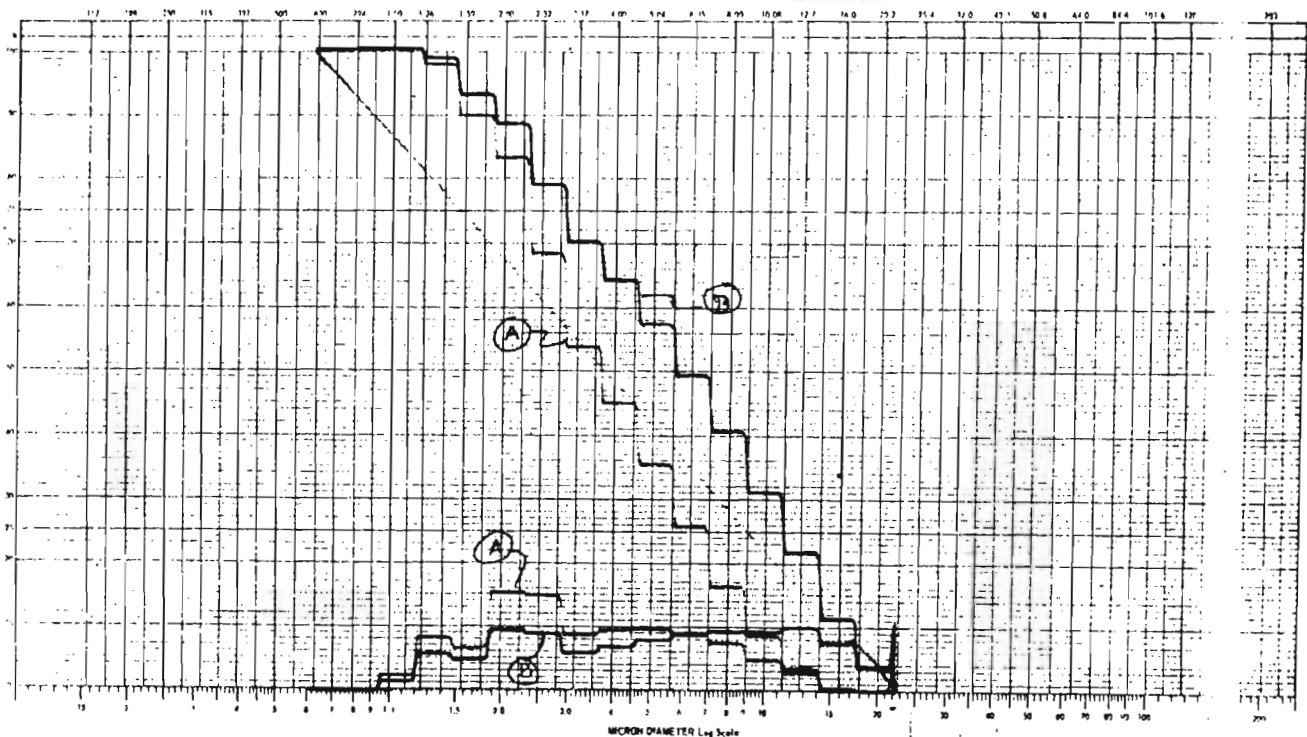
SAMPLE	ELECTROLYTE	DISPERANT	APER. SIZE	SERIAL	PART DIA.	W	ΔIA	A	DIA.	W	ΔIA	A
A	BEAUNE 4180 cm ² /g		50 μ									
B												



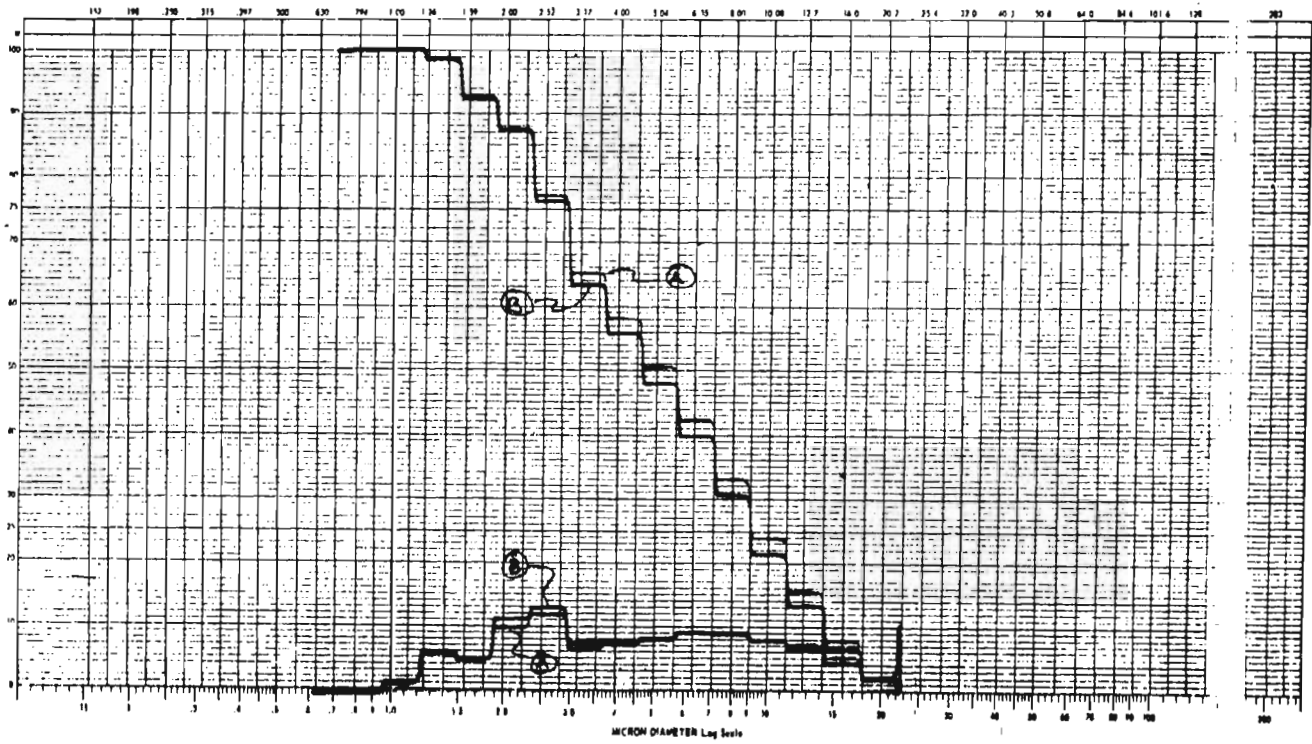
MILLINUTION _____
 OPERATOR _____
 TEMPERATURE _____
 SAMPLE _____
 A. BLAINE 1180 cm^2/g ELECTROLYTE
 B. 328439
 331651

$v = \sqrt{\frac{2r}{\rho}}$ $\frac{d_1}{d_2} = \left(\frac{\rho_2}{\rho_1}\right)^{1/2}$ when $W_2 = W_1$

APERTURE	SERIAL	PART NO.	W	Δ LA	A	SHA.	W	LA	A
50μ									



RELATIONSHIP		$V = d \sqrt{\frac{2V}{A}}$		$\frac{d_1}{d_2} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{1/2}$ where $V_2 = W_1$		SAMPLE #		FEMMA					
OPERATOR		APERTURE SIZE		SERIAL		PART DIA.		F		2 SA		p A	
EQUIPMENT		DISPERSANT											
SAMPLE		ELECTROLYTE											
A		BLANK 4180 cm ² /g											
B		328433											
		318661											



T A B L A A.7

Distribución de partículas de 3.17 a 64 micrones para la mezcla con superficie específica de 4269 cm²/g utilizando un tubo de apertura de 140 micrones de diámetro.

CANAL	DIAMETRO MICRONES	CONTEO TOTAL					
		186739	182905	174127	207851	215021	162099
		DISTRIBUCION EN PORCENTAJE					
1	2.00	0	0	0	0	0	0
2	2.52	0	0	0	0	0	0
3	3.17	10.9	8.4	15.0	13.9	10.0	6.5
4	4.00	14.1	12.0	22.0	16.5	12.0	7.3
5	5.04	11.0	9.5	13.9	9.7	11.0	9.3
6	6.35	10.0	8.0	14.3	9.9	8.9	10.9
7	8.00	11.7	9.2	13.0	11.0	9.9	11.9
8	10.08	9.8	10.5	11.2	12.0	10.4	12.9
9	12.70	11.6	12.0	9.0	12.4	11.0	13.9
10	16.00	10.0	12.8	3.9	10.0	11.0	12.9
11	20.20	6.5	10.9	1.4	2.0	9.9	11.0
12	25.40	3.0	7.0	1.0	0.5	7.9	5.9
13	32.00	0.9	4.7	0.5	0.5	2.9	2.0
14	40.30	0.0	1.3	0.5	0.0	1	1.0
15	50.80	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0
16	64.00	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0

COULTER COUNTER® Model T

PARTICLE SIZE ANALYSIS

COULTER ELECTRONICS INC.
 900 W 20 ST.
 WILMINGTON, FLA. 32010

PRECISION

OPERATOR

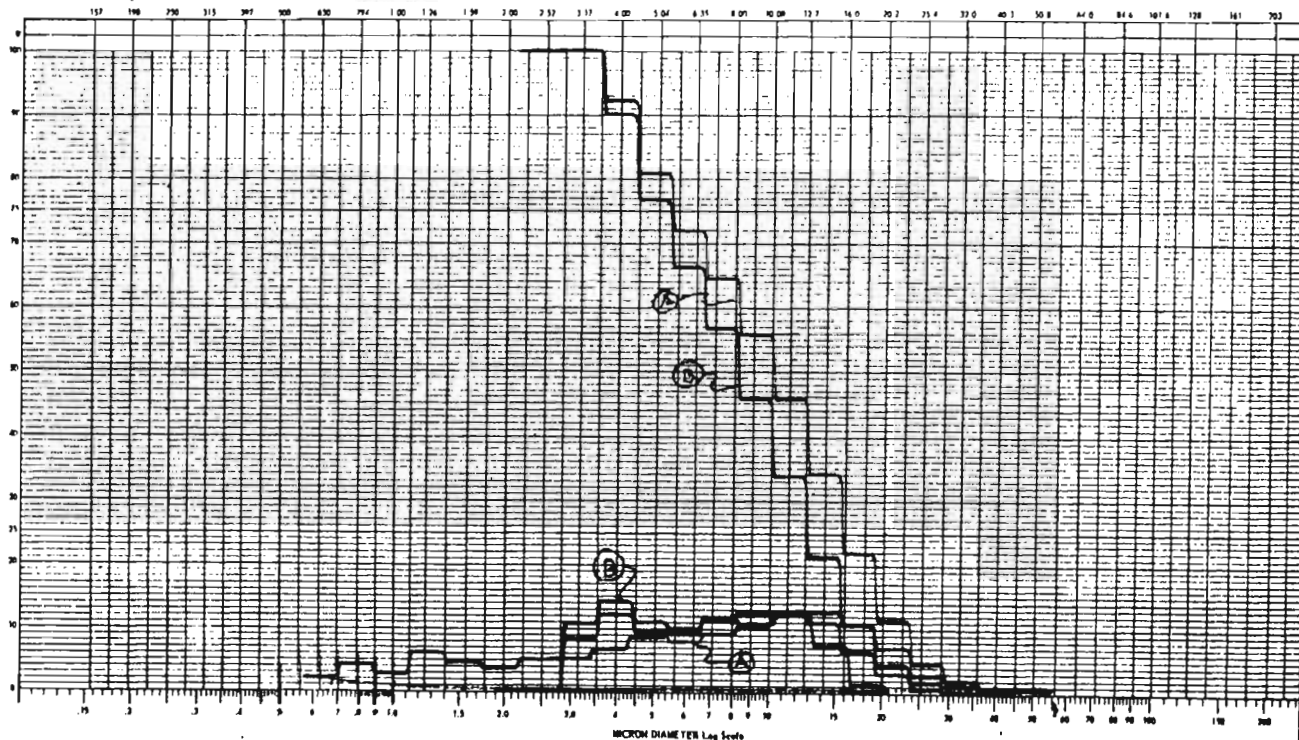
EQUIPMENT

$$s = 1 \sqrt{\frac{\sum w^2}{\sum w}}$$

$$\frac{\Delta s}{s} = \left(\frac{\Delta w}{w}\right) \sqrt{\frac{w_1}{w_2 - w_1}}$$

SAMPLE SETTINGS

	SAMPLE	ELECTROLYTE	DISPERGANT	APERT. SIZE	SPRINKL	PART DIA.	V	Δ SA	A	SCA.	W	Δ SA	A
A	BLAINE 4769			140 μ									
B	182905												
	186731												





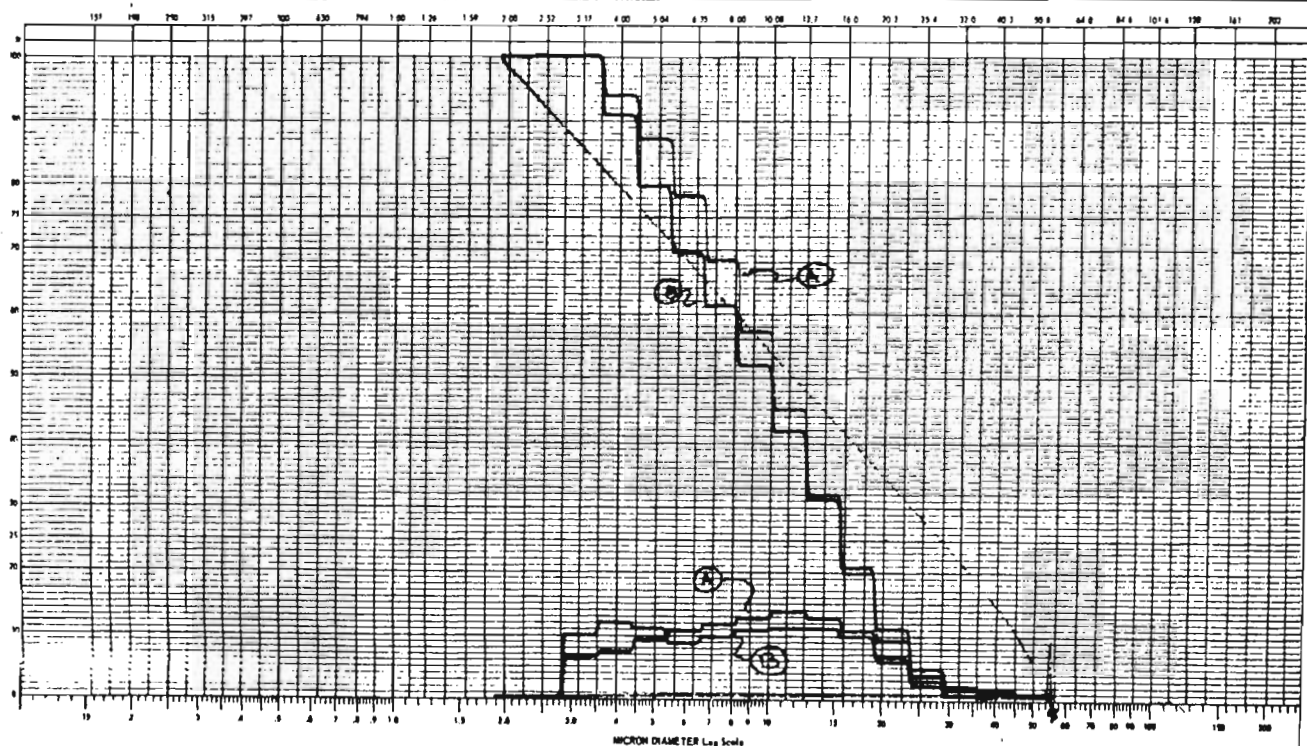
COULTER COUNTER® Model T

PARTICLE SIZE ANALYSIS

15 - 300 μ
2 PERCENT

COULTER ELECTRONICS INC.
P.O. BOX 51
MILWAUKEE, WIS. 53210

OPERATION		$V = d \sqrt{\frac{2V}{k}}$		$\frac{d_1}{d_2} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{1/2}$ where $W_1 = W_2$		SAMPLE SETTINGS							
OPERATOR		APERTURE SIZE		SERIAL		PART NO.	W	Δ SA	Δ	DIS.	W	Δ SA	Δ
EQUIPMENT		DISPERGENT		140 μ									
SAMPLE	ELECTROLYTE												
A	BLAINE 4269 Cont. / g												
B	162099												
	209143												



4887019

T A B L A A.8

Distribución de partículas de 1.26 a 15.4 micrones para la mezcla con superficie específica de 4269 cm²/g utilizando un tubo de apertura de 50 micrones.

		CONTEO TOTAL					
CANAL	DIAMETRO	219325	220259	215921	215801	250635	223847
	MICRONES	DISTRIBUCION EN PARTICULAS					
1	.794	0	0	0	0	0	0
2	1.00	0	0	0	0	0	0
3	1.26	3.2	4.0	5.0	4.0	3.0	3.1
4	1.39	8.5	9.5	11.9	10.5	10.9	8.9
5	2.00	7.8	9.0	11.0	8.9	7.0	7.0
6	2.52	9.9	10.0	12.2	13.9	10.9	13.7
7	3.17	8.5	9.0	11.9	14.0	13.1	15.5
8	4.00	8.2	8.5	9.7	14.3	12.2	14.9
9	5.04	9.5	9.5	9.2	10.5	10.5	11.3
10	6.35	10.0	9.9	8.9	10.0	10.7	10.1
11	8.00	9.8	9.9	7.9	7.2	9.3	8.2
12	10.08	8.9	7.5	5.9	4.9	7.1	4.9
13	12.70	5.9	6.0	3.2	1.9	4.0	2.8
14	16.00	4.7	5.0	3.9	1.0	2.0	1.0
15	20.20	5.2	3.0	1.0	1.0	0.1	0.3
16	25.40	3.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.4

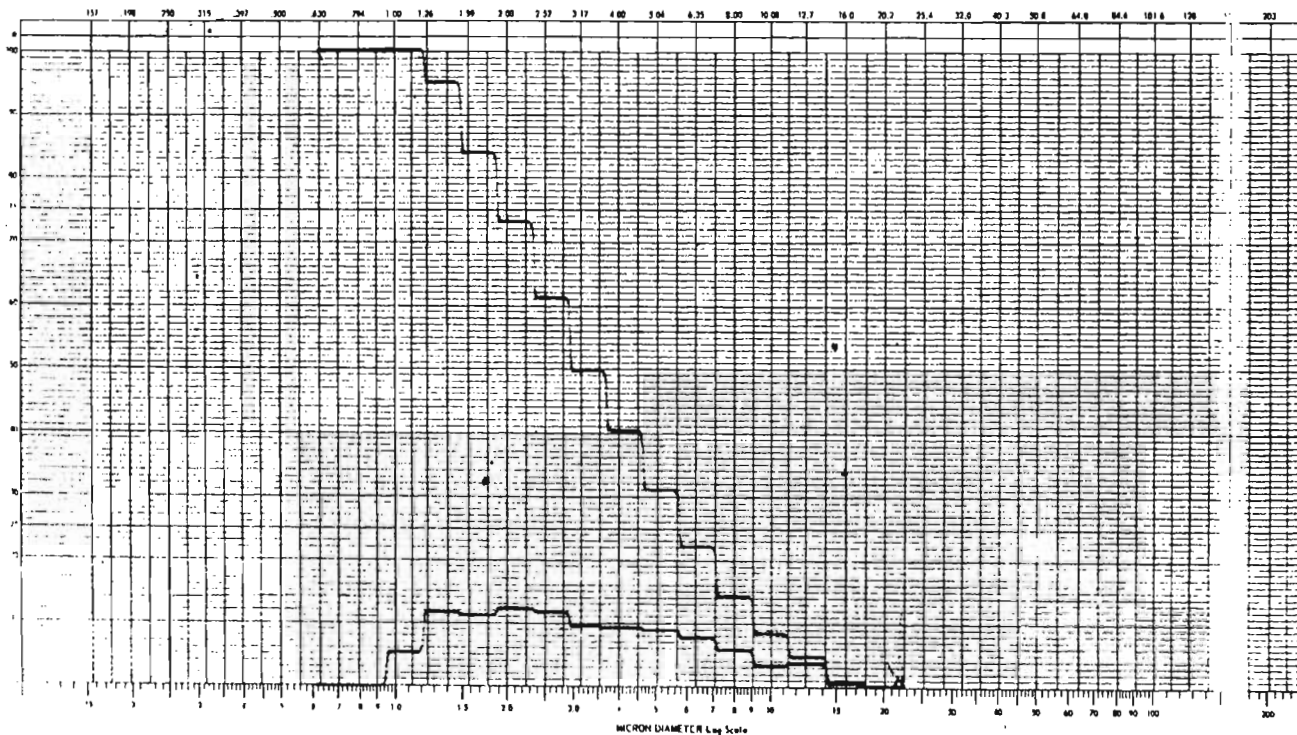
COULTER COUNTER® Model T

PARTICLE SIZE ANALYSIS

15 - 200 μ
1 PERCENT
COULTER
SERIAL NO. 11
WALSH

EDMUNDS INC.
1968

ORGANIZATION		$k = d \sqrt{\frac{2}{\lambda}}$		$\frac{d_2}{d_1} = \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^3$ when $W_2 = W_1$		SAMPLE	
OPERATOR		APERT. SIZE		SERIAL		PART. DIA.	
EQUIPMENT		DISPERGENT		ELECTROLYTE		W	
SAMPLE		ELECTROLYTE		DISPERGENT		W	
BLK 1009 4269 cm ² /g		50 μ					
215021							





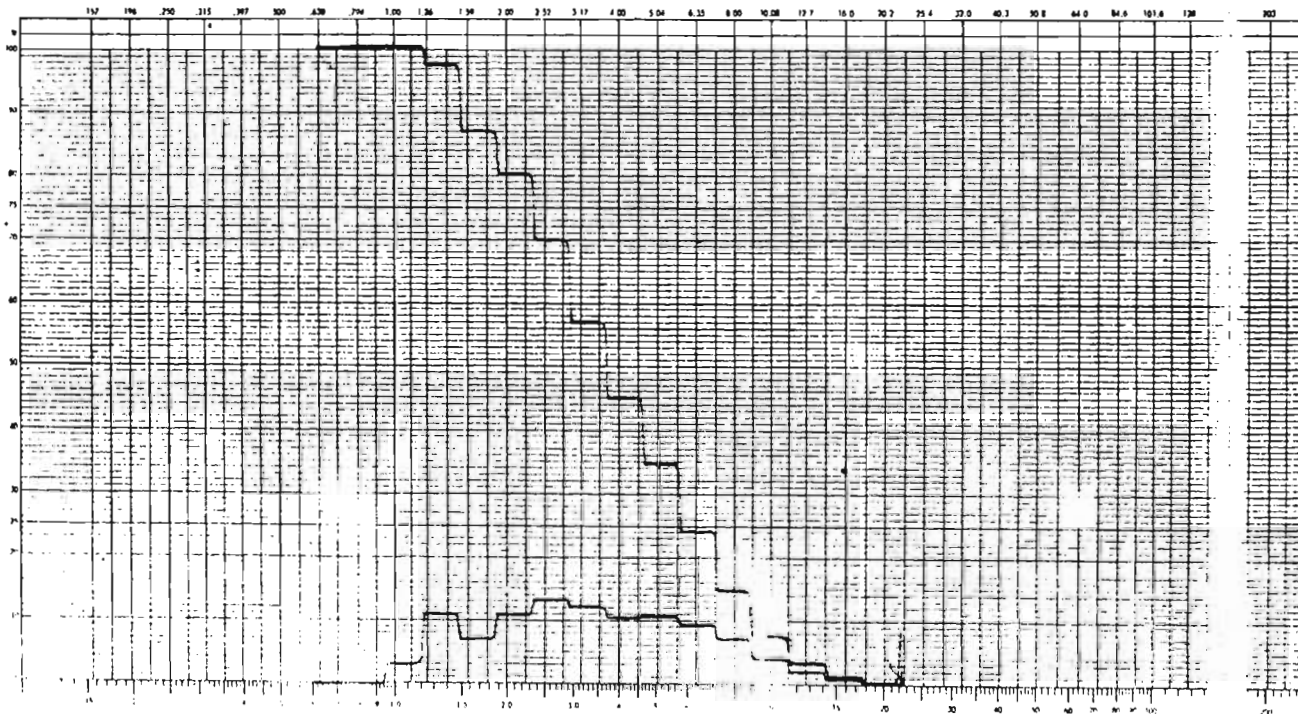
Coulter Counter® Model T

PARTICLE SIZE ANALYSIS

.15 - 200 μ
1 PERCENT

COULTER ELECTRONICS INC.
990 W 20 ST
WALKER IA 50078

CALCULATION		$b = d \sqrt{\frac{2}{A}}$		$\frac{A_2}{A_1} = \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^2$ when $W_2 = W_1$		SAMPLE SETTINGS	
OPERATOR		APERT. SIZE		SERIAL		PART. DIA.	
EQUIPMENT		ELECTROLYTE		DISPERGENT		V	
SAMPLE		APERT. SIZE		SERIAL		PART. DIA.	
BYNIDE 4269 au ² /g 250635		50 μ					



COULTER COUNTER® Model T

PARTICLE SIZE ANALYSIS

15 - 200 μ
 5 PERCENT
 COULTER MODEL T
 1958

OPERATOR _____

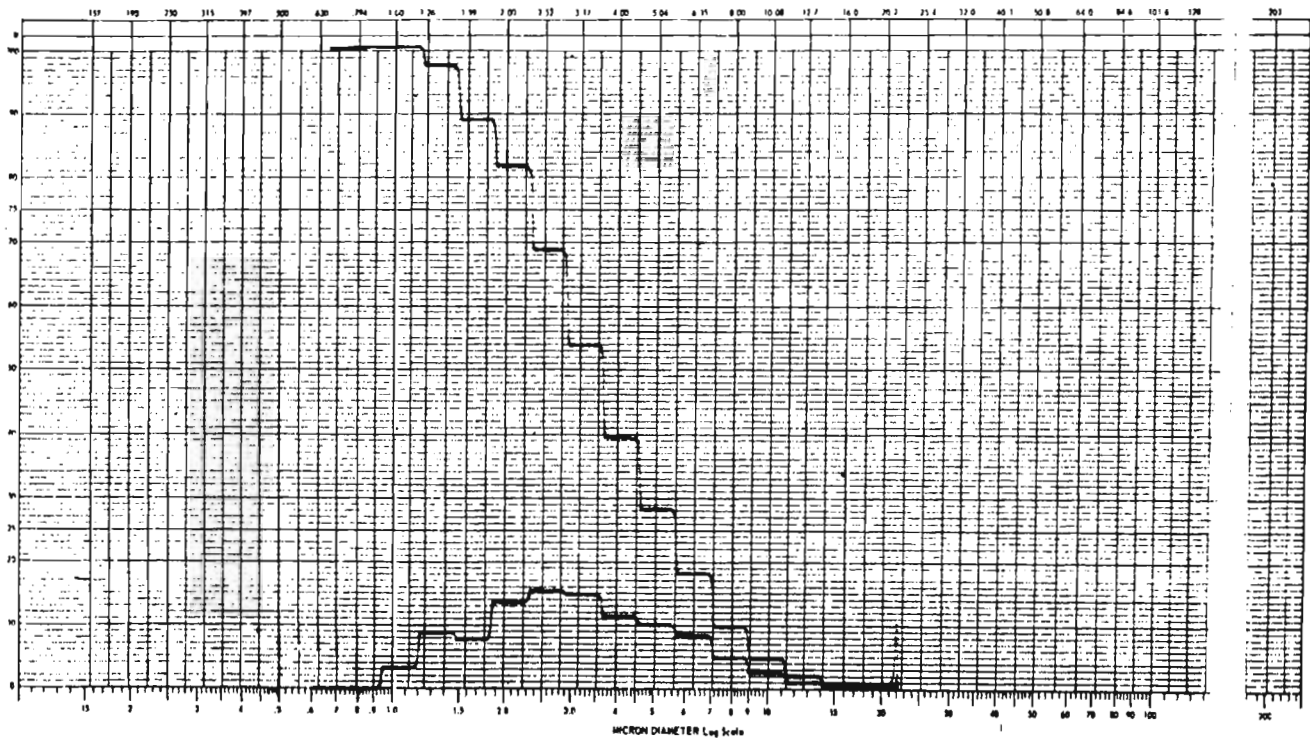
EQUIPMENT _____

SAMPLE NAME **BLAUDE 4269 cm²/g**
823843

ELECTROLYTE _____

DISPERSIANT _____

$V = k \sqrt{\frac{V^2}{A}}$		$\frac{d_2}{d_1} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^2$ when $W_2 = W_1$		SAMPLE #		FORM	
APPR. SIZE	SERIAL	PART DIA.	V	5 TA	A	DIA.	B
50 μ							



T A B L A A.9

Distribución de partículas de 3.17 a 64 micrones para una mezcla con superficie específica de 4270 cm²/g. Blaine utilizando un tubo de apertura de - 140 micrones de diámetro.

		CONTEO TOTAL									
CANAL	DIAMETRO	152213	159135	199439	168419	142447	206909	157223	195724	188835	174861
	MICRONES	DISTRIBUCION DE PORCENTAJE									
1	2.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	2.52	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	3.17	11.0	11.9	14.0	16.9	12.5	11.9	15.0	11.5	11	17.8
4	4.00	12.9	11.9	15.0	19.9	11.0	12.0	16.9	13.5	14.3	20.9
5	5.04	11.2	10.0	11.0	13.0	12.0	9.0	10.0	8.9	9.9	12.9
6	6.35	8.0	7.5	8.5	11.0	12.9	6.9	10.0	7.0	8.9	12.2
7	8.00	9.0	8.6	9.5	11.5	13.5	8.1	9.8	8.0	9.3	11.9
8	10.08	9.9	10.0	10.0	11.0	13.5	9.0	9.0	9.2	10.4	10.2
9	12.70	10.9	11.5	11.5	9.9	12.0	10.3	8.9	10.5	12.0	8.2
10	16.00	10.2	10.0	10.9	6.0	10.0	11.0	8.0	11.5	11.9	5.8
11	20.20	8.0	8.0	8.0	2.5	5.8	11.0	7.0	10.2	9.0	2.8
12	25.40	3.5	4.0	5.5	2.0	3.0	10.5	5.0	8.0	3.9	0.5
13	32.00	1.0	1.0	1.0	1.0	0.9	4.0	3.0	5.5	0.0	0.0
14	40.30	0.0	0.0	0.5	0.5	0.5	1.0	1.0	2.0	0.0	0.0
15	50.80	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.5	0.5	1.3	0.0	0.0
16	64.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0	0.0	0.0	0.0

TEST ANALYST

OPERATION

EQUIPMENT

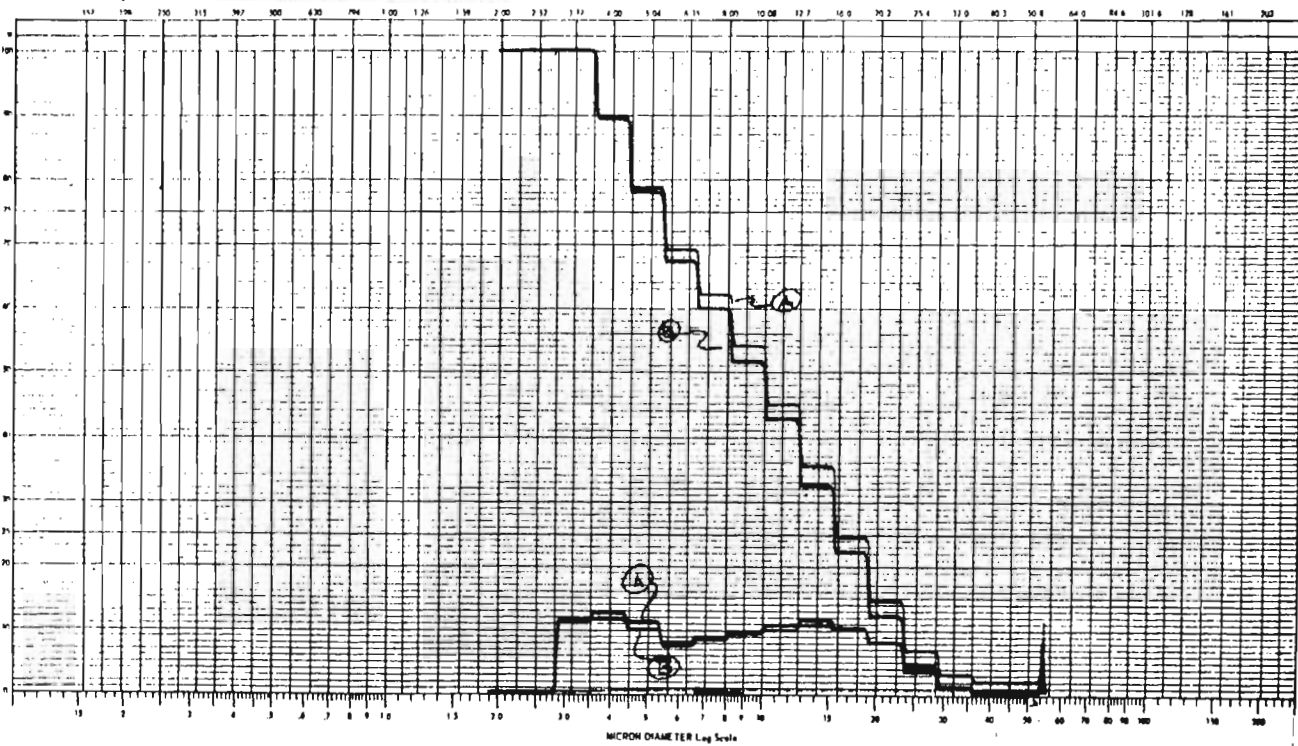
$$V = \sqrt{\frac{77}{\rho}}$$

$$\frac{d_2}{d_1} = \left(\frac{d_1}{d_2}\right)^3 \text{ when } W_2 = W_1$$

SAMPLE SETTINGS

SAMPLE	BLAINE 4220 <i>cm²/g</i>	ELECTROLYTE	DISPERGENT
	A 159135		
B 152213			

APER SIZE	SERIAL	PART DIA.	W	2 LA	3	DIA.	W	2 LA
140 μ								



MICRON DIAMETER Log Scale



COULTER COUNTER® Model T

PARTICLE SIZE ANALYSIS

.10 - 200 μ
1 PERCENT

COULTER ELECTRONICS INC.
390 S 30 ST.
MILWAUKEE, WIS. 53210

ORGANIZATION

OPERATOR

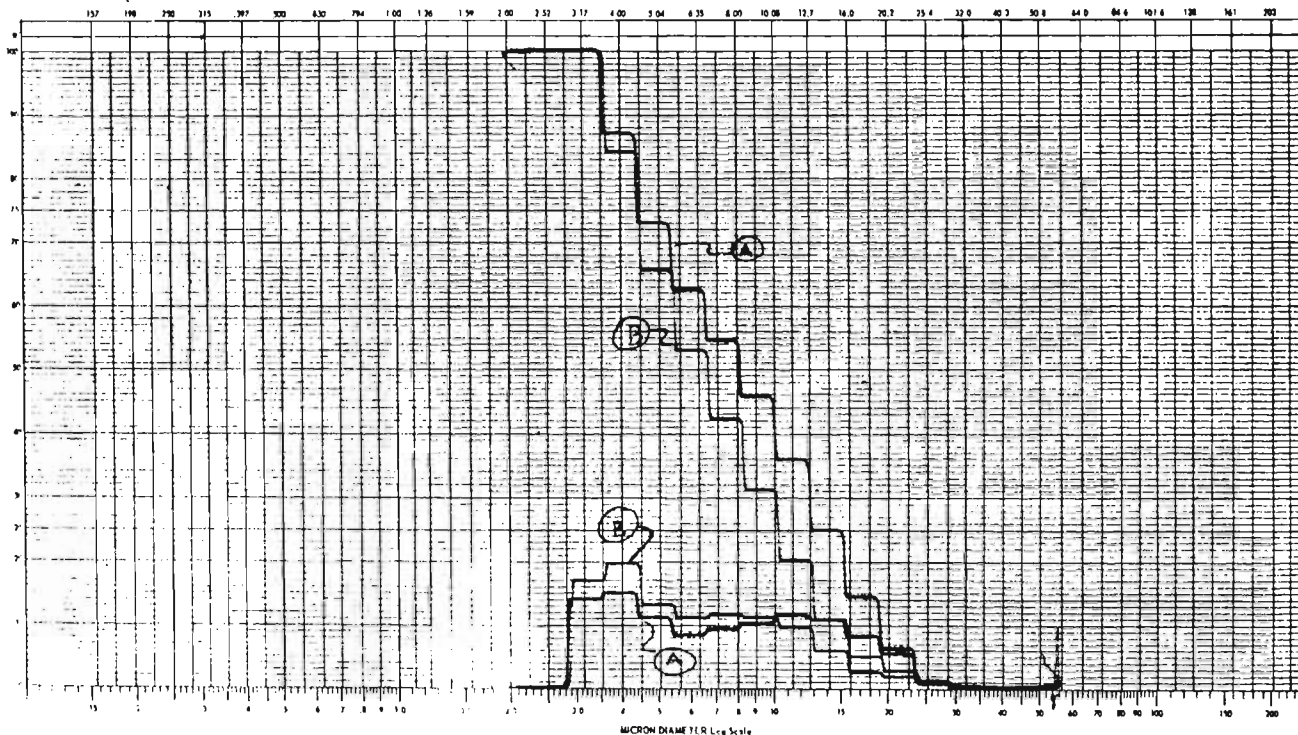
EQUIPMENT

$$L = d \sqrt{\frac{V}{2}}$$

$$\frac{\Delta L}{L} = \left(\frac{\Delta V}{V}\right)^{1/2} \text{ when } \Delta V = V$$

SAMPLE SETTINGS

SAMPLE	ELECTROLYTE	DISPERGENT	APERT. SIZE	SERIAL	PART. DIA.				SAMPLE SETTINGS				
					U	ΔIA	A	DIA.	U	ΔIA	A		
A	BLANK		140 μ										
B													





COULTER COUNTER® Model T

PARTICLE SIZE ANALYSIS

.15 - 200 μ
5 PERCENT

COULTER ELECTRONICS INC.
905 W 30 ST.
MILWAUKEE, WIS. 53219

ORGANIZATION

OPERATOR

$$s = d \sqrt{\frac{2}{A}}$$

$$\frac{A_1}{A_2} = \left(\frac{d_1}{d_2}\right)^2 \text{ when } \sigma_1 = \sigma_2$$

SAMPLE SETTINGS

EQUIPMENT

APPR. SIZE

SERIAL

PART
DIA.

V

Δ SA

A

DIA.

V

Δ SA

A

SAMPLE

ELECTROLYTE

DISPERANT

140 μ

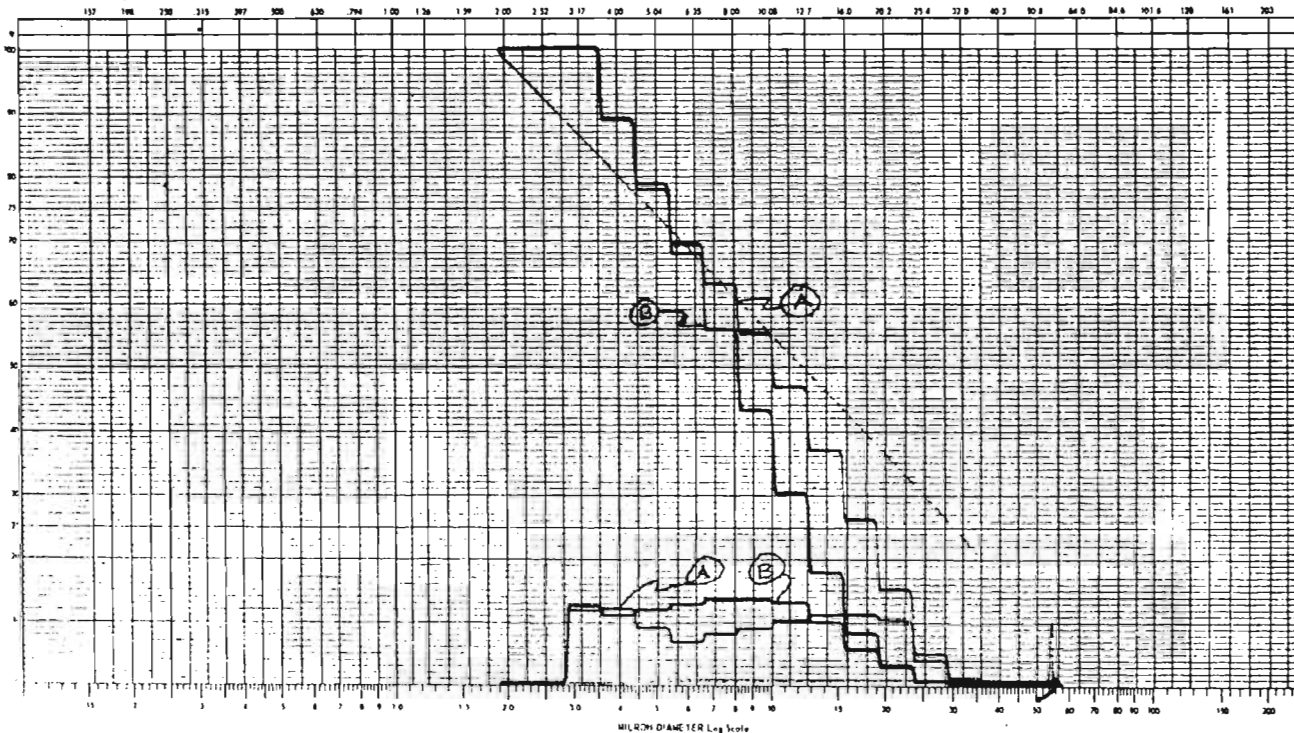
BLAINE 1270 cm²/g

A

206909

B

142447



TEST ANALYST

OPERATION

EQUIPMENT

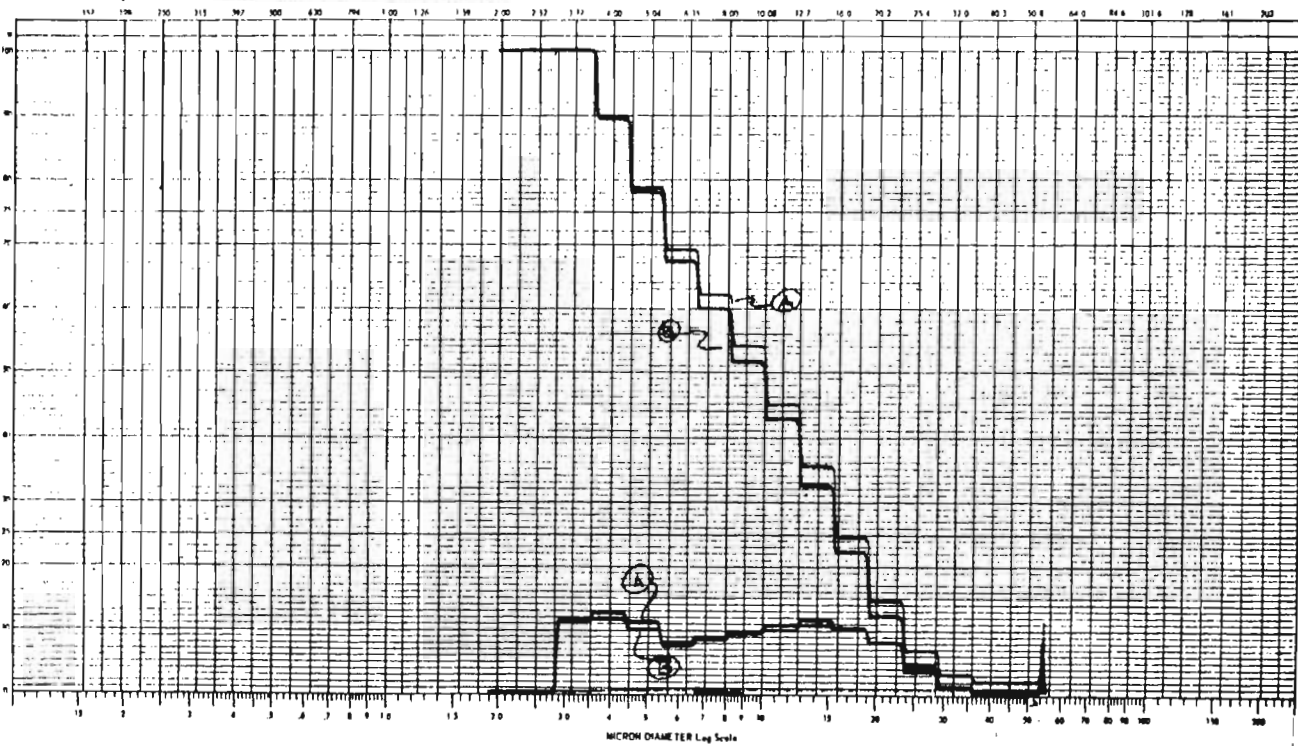
$$V = \sqrt{\frac{4}{3} \pi r^3}$$

$$\frac{d_2}{d_1} = \left(\frac{W_2}{W_1}\right)^{1/3} \text{ when } W_2 = W_1$$

SAMPLE SETTINGS

SAMPLE	BLAINE 4220 <i>cm²/g</i>	ELECTROLYTE	DISPERGENT
A	159135		
B	152213		

APER SIZE	SERIAL	PART DIA.	W	2 SA	3	DIA.	W	2 SA
140 μ								



MICRON DIAMETER Log Scale



COULTER COUNTER® Model T

PARTICLE SIZE ANALYSIS

.10 - 200 μ
1 PERCENT

COULTER ELECTRONICS INC.
390 S 30 ST.
MILWAUKEE, WIS. 53210

ORGANIZATION

OPERATOR

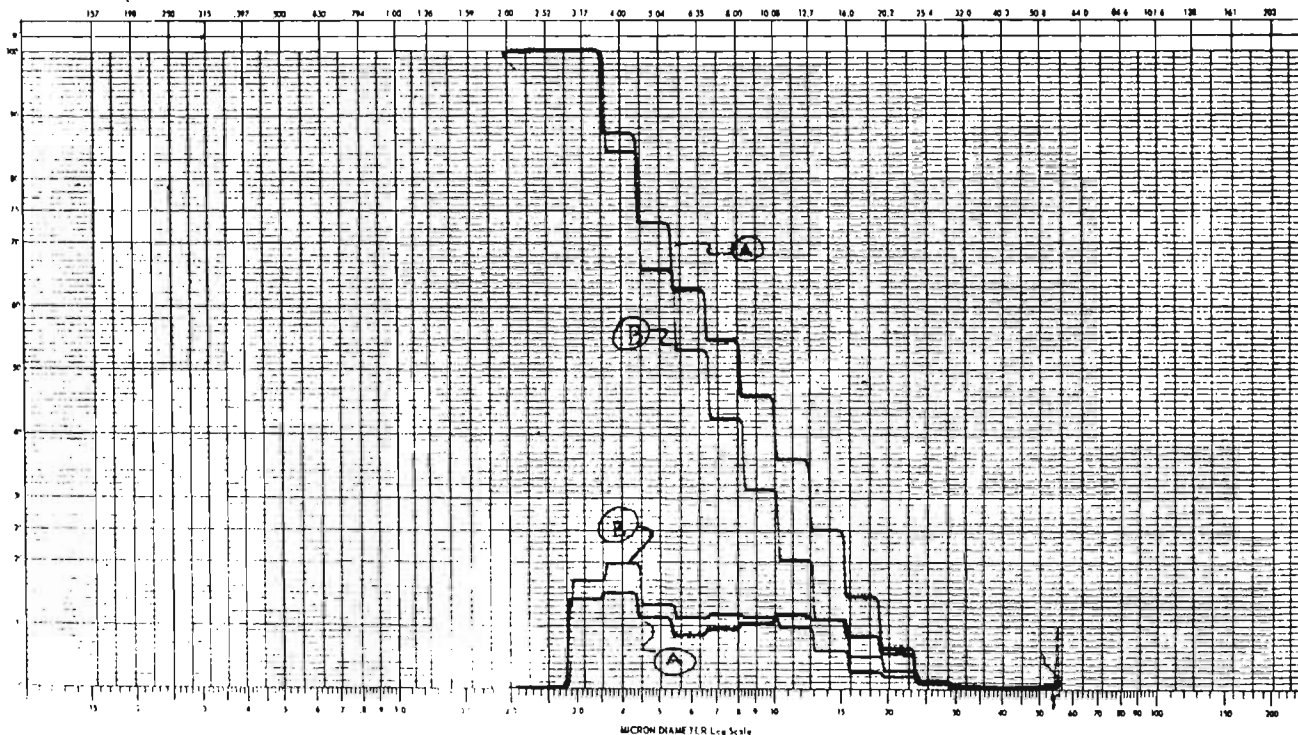
EQUIPMENT

$$L = d \sqrt{\frac{V}{4}}$$

$$\frac{\Delta L}{L} = \left(\frac{\Delta V}{V}\right)^{1/2} \text{ when } D_V = V$$

SAMPLE SETTINGS

SAMPLE	ELECTROLYTE	DISPERGENT	APERT. SIZE	SERIAL	PART. DIA.				SAMPLE SETTINGS				
					U	ΔIA	A	DIA.	U	ΔIA	A		
A	BLANK		140 μ										
B													



MICRON DIAMETER Log Scale



COULTER COUNTER® Model T

PARTICLE SIZE ANALYSIS

.15 - 200 μ
5 PERCENT

COULTER ELECTRONICS INC.
905 W 30 ST.
MILWAUKEE, WIS. 53219

ORGANIZATION

OPERATOR

$$s = d \sqrt{\frac{2}{A}}$$

$$\frac{A_1}{A_2} = \left(\frac{d_1}{d_2}\right)^2 \text{ when } \sigma_1 = \sigma_2$$

SAMPLE SETTINGS

EQUIPMENT

APPR. SIZE

SERIAL

PART
DIA.

V

Δ SA

A

DIA.

V

Δ SA

A

SAMPLE

ELECTROLYTE

DISPERANT

140 μ

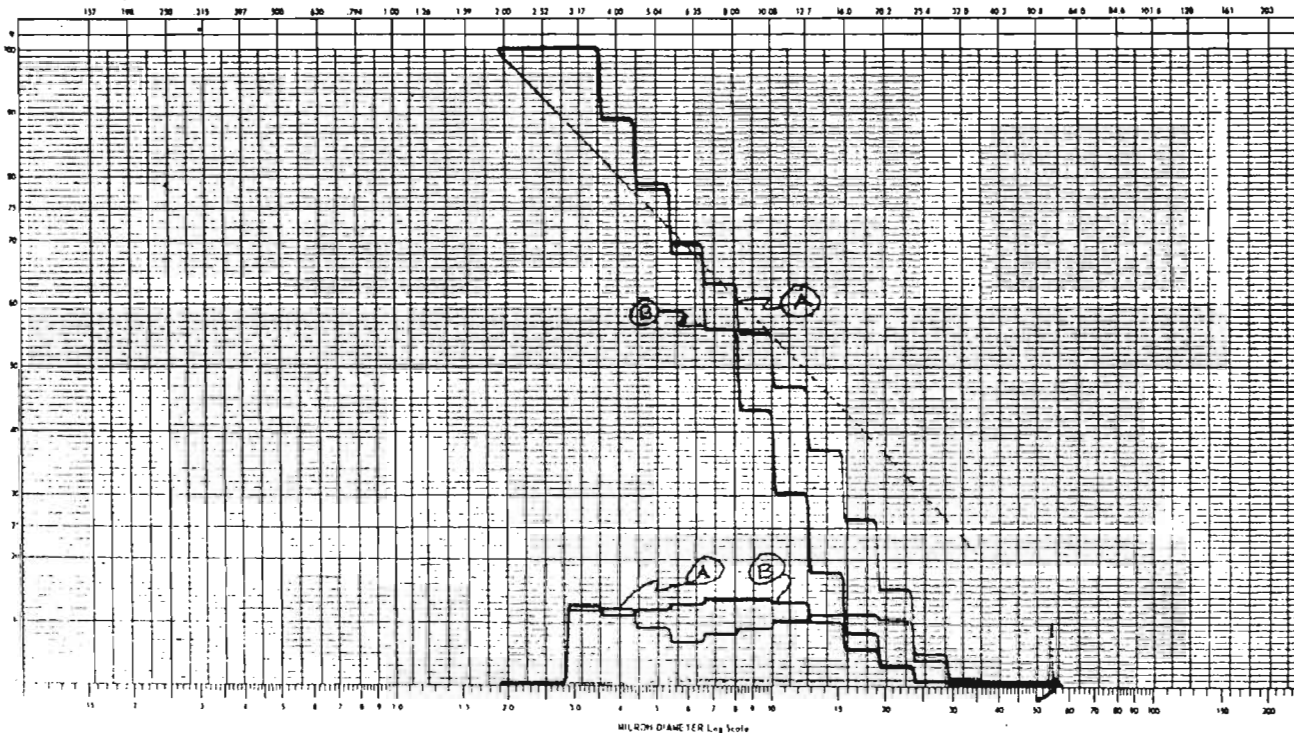
BLAINE 1270 cm²/g

A

206909

B

142447



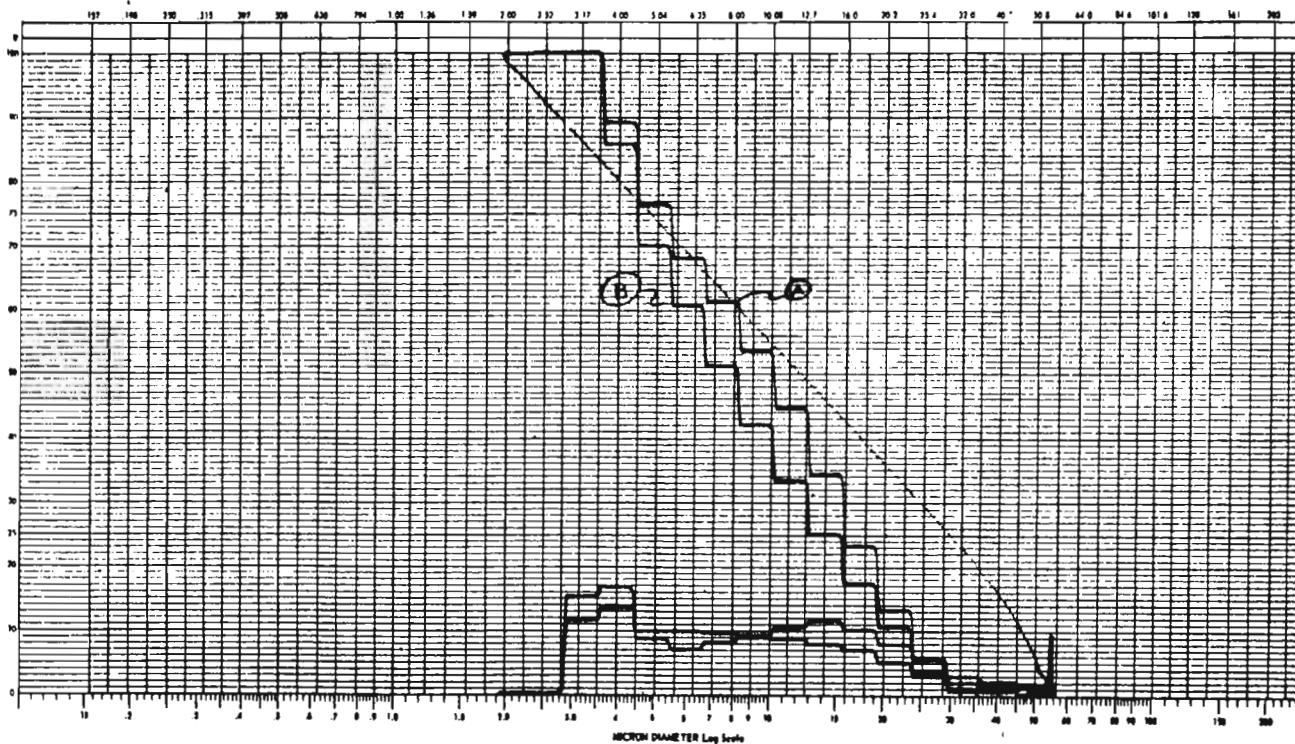
COULTER COUNTER® Model T

PARTICLE SIZE ANALYSIS

15 - 200 μ
X PERCENT

COULTER ELECTRONICS INC.
248 W 20 ST.
MILLSBORO, DELAWARE 19966

OPERATION		$L = d \sqrt{\frac{V}{K}}$		$\frac{d_1}{d_2} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{1/2}$ when $D_1 = D_2$		SAMPLE IDENTIFICATION							
OPERATOR		APERTURE SIZE		SERIAL		PART NO.		W		S SA		A	
EQUIPMENT		DISPERSEANT		140 μ									
SAMPLE		ELECTROLYTE											
A		BLAINE 4270 cut/g											
B		195229											
		157223											



MICRON DIAMETER Log Scale

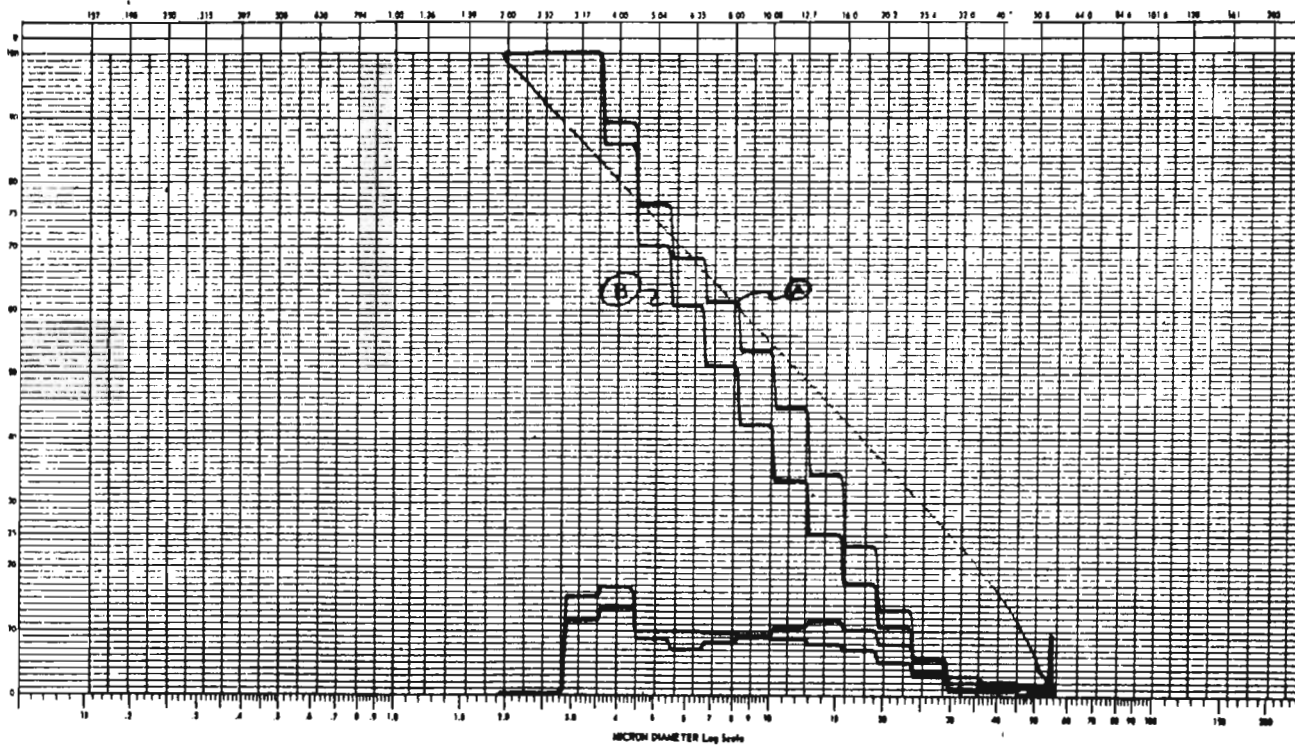
COULTER COUNTER® Model T

PARTICLE SIZE ANALYSIS

15 - 200 μ
X PERCENT

COULTER ELECTRONICS INC.
248 W 20 ST.
MILLSBORO, P.A. 19966

OPERATION		$L = d \sqrt{\frac{V}{K}}$		$\frac{d_1}{d_2} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{1/2}$ when $D_1 = D_2$		SAMPLE IDENTIFICATION							
OPERATOR		APERTURE SIZE		SERIAL		PART DIA.		W		S SA		A	
EQUIPMENT		DISPERGENT		140 μ									
SAMPLE		ELECTROLYTE											
A		BLAINE 4270 cut/g											
B		195729											
		157223											





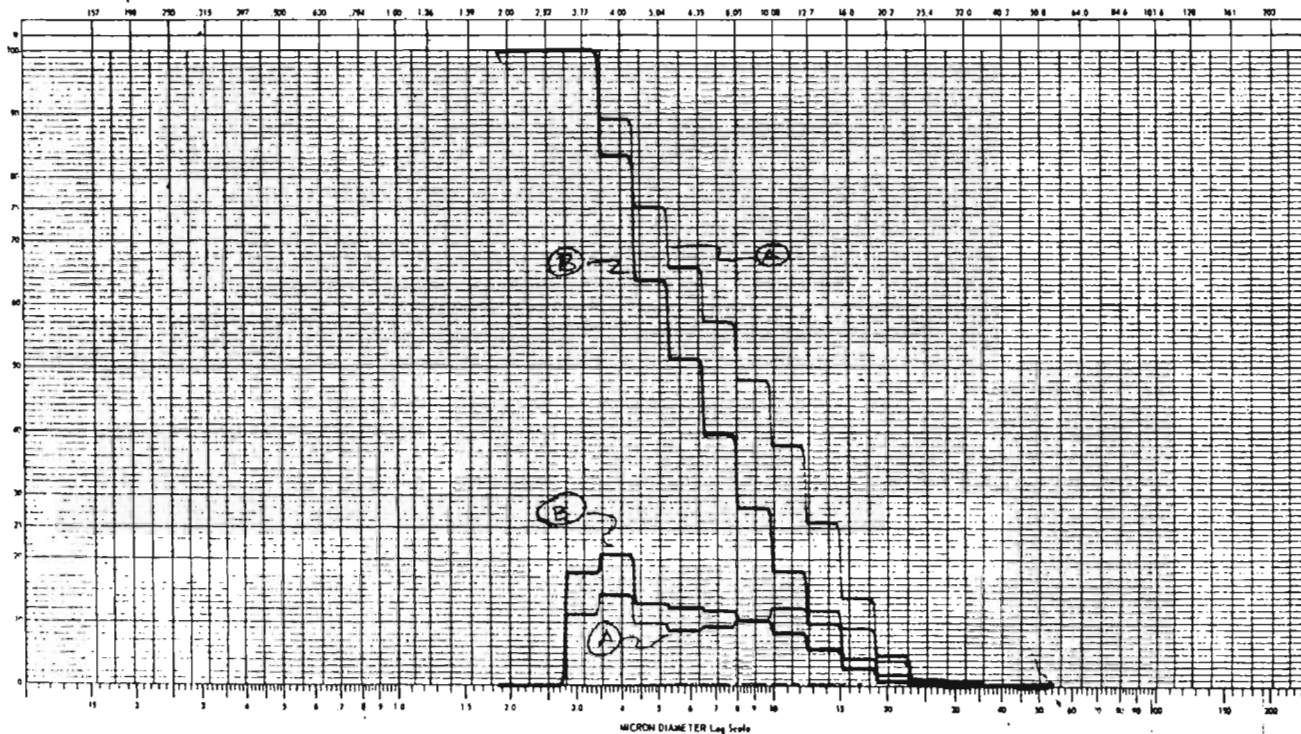
COULTER COUNTER® Model T

PARTICLE SIZE ANALYSIS

15 - 200 μ
± PERCENT

COULTER ELECTRONICS INC.
390 N 24 ST.
MILWAUKEE, WIS. 53210

DEFLECTION		$k = 1 \sqrt{\frac{V}{A}}$		$\frac{A_2}{A_1} = \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^3$ where $D_2 > D_1$		SAMPLE SETTINGS						
OPERATOR		APER. SIZE	SERIAL		FAET DIA.	V	S IA	A	DIA.	V	S IA	A
EQUIPMENT		ELECTROLYTE	DISPERSANT	140 μ								
SAMPLE	BLANK 4270											
A	188835											
B	174861											



MICRON DIAMETER Log Scale

T A B L A A.10

Distribución de partículas de 1.26 a 25.4 micrones para una mezcla con superficie de 4270 cm²/g. Blaine utilizando un tubo de apertura de 50 micrones.

CANAL	DIAMETRO MICRONES	CONTEO TOTAL							
		321876	280801	323397	335053	295659	303199	301741	311613
		DISTRIBUCION EN PORCENTAJE							
1	.794	0	0	0	0	0	0	0	0
2	1.00	0	0	0	0	0	0	0	0
3	1.26	1.9	2.5	1.9	1.5	2.2	2.9	1.9	2.0
4	1.39	6.9	8.0	6.9	6.0	8.9	10.5	6.0	7.5
5	2.00	5.9	6.5	5.0	4.9	7.0	8.0	5.0	6.0
6	2.52	12.9	14.5	11.0	9.5	12.2	11.9	9.9	10.9
7	3.17	16.9	18.9	13.0	12.0	9.9	10.0	12.0	9.5
8	4.00	12.9	13.2	11.0	7.0	8.9	9.5	9.9	7.8
9	5.04	8.5	9.0	8.0	7.0	10.0	10.7	8.3	9.0
10	6.35	8.9	9.0	8.5	7.9	10.5	11.0	9.0	9.9
11	8.00	8.9	9.0	8.9	8.9	10.9	10.5	9.9	10.9
12	10.08	8.0	7.5	8.9	9.9	9.0	9.0	10.0	10.5
13	12.70	6.0	5.9	7.9	9.0	7.2	6.2	10.0	9.0
14	16.00	4.5	3.0	5.2	8.5	4.5	2.5	7.5	7.9
15	20.20	2.9	1.0	3.0	5.2	2.3	0.5	4.9	5.0
16	25.40	0.5	0.0	1.0	2.2	0.0	0.0	1.9	1.0

COULTER COUNTER® Model T

PARTICLE SIZE ANALYSIS

COULTER MODEL T
 75 - 200 μm
 2 PERCENT
 WALKER 1500

781507-1-58

OPERATOR

$$V = \sqrt[3]{\frac{W}{\rho}}$$

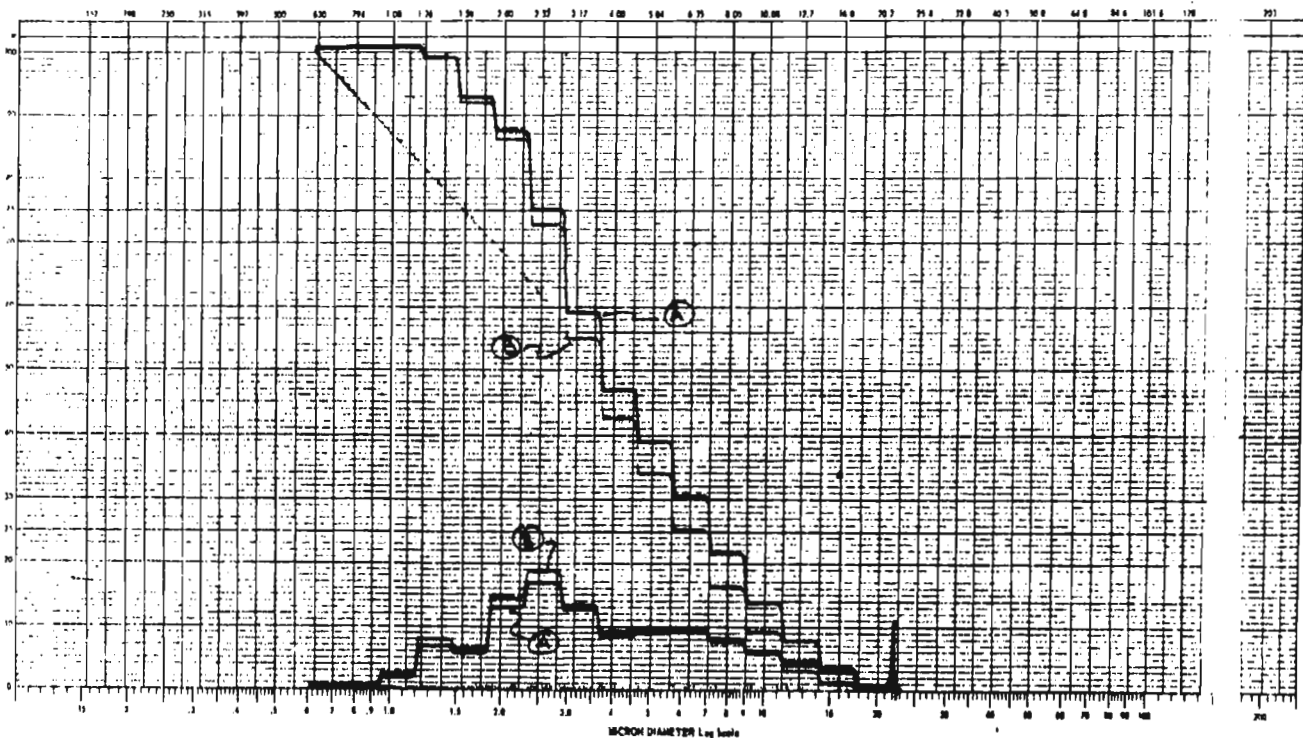
$$\frac{dV}{dV} = \left(\frac{dW}{dW}\right)^{\frac{1}{3}} \text{ when } W_1 = W_2$$

SAMPLE # 177066

EQUIPMENT

APPR. WGT	SERIAL	FLY	V	A SA	A	DA	W	IA	A
50 M									

SAMPLE: **BRAND 4270 cm²/g** ELECTROLYTE
 DISPERGANT
32.1836
280.801

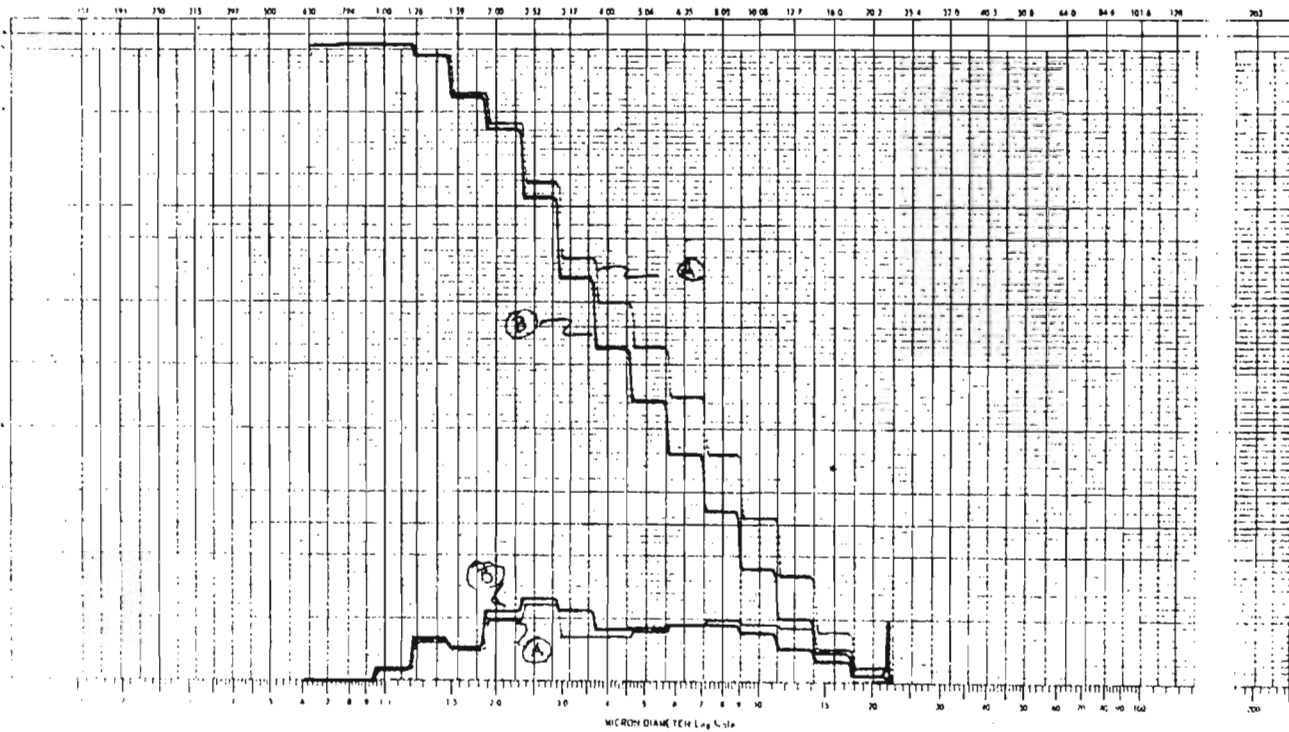


COULTER COUNTER® Model T

PARTICLE SIZE ANALYSIS

COULTER ELECTRONICS INC
 990 N 28 ST
 MILWAUKEE WI 53219

$L = d \sqrt{\frac{2V}{A}}$		$\frac{d_1}{d_2} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{1/2}$ when $W_1 = W_2$		SAMPLE IDENTIFICATION					
OPERATOR EQUIPMENT	APERTURE 50 μ	SERIAL	PART DIA.	W	DIA	A	DIA.	W	DIA.
SAMPLE BAYING 4270 cm^2/g ELECTROLYTE		DISPERSANT		335053 323397					



COULTER COUNTER Model T

PARTICLE SIZE ANALYSIS

COULTER MODEL T
 15 - 200 μm
 5 PERCENT
 MALVERN

DESCRIPTION

OPERATOR

EQUIPMENT

$$V = \sqrt[3]{\frac{W}{A}}$$

$$\frac{d_1}{d_2} = \left(\frac{W_1}{W_2}\right)^{1/3} \text{ where } W_2 = W_1$$

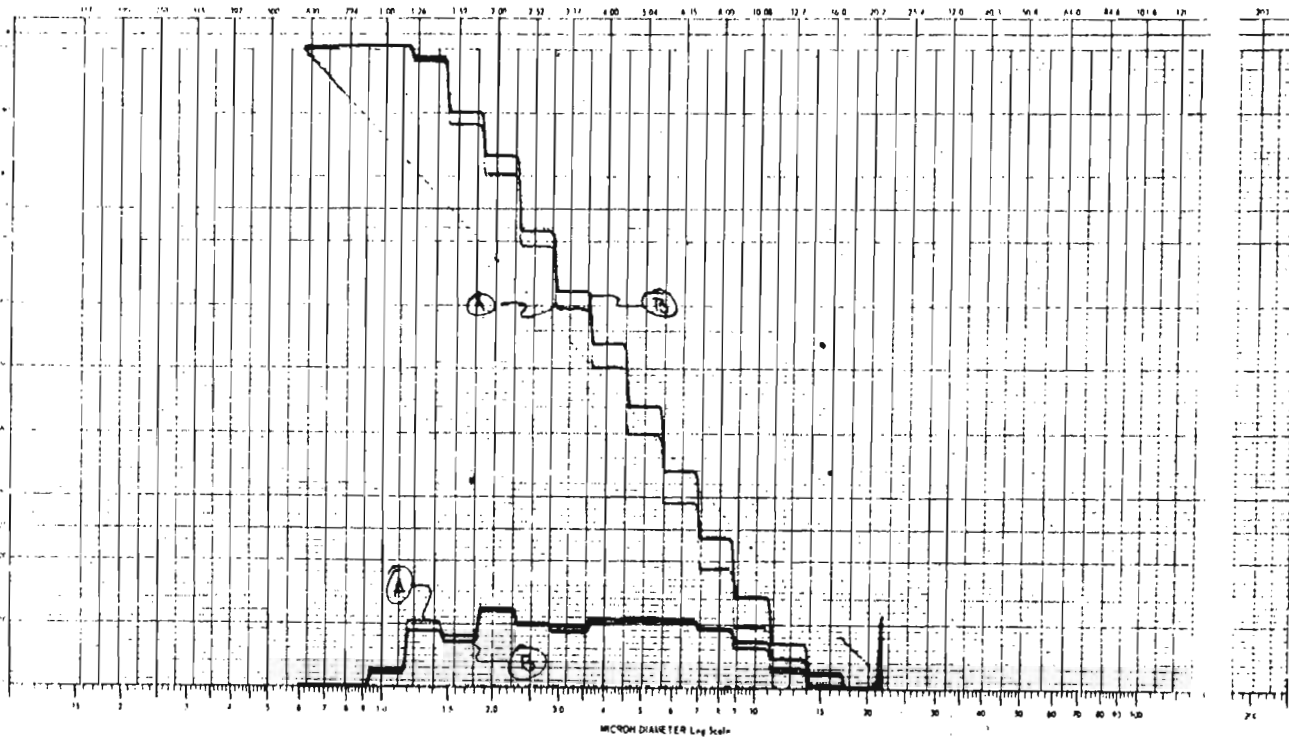
SAMPLE

NO.

SAMPLE NO. **BLAINE 4270** EMULSION
303199
295659

DISPERGENT

APPR. SIZE	SERIAL	PART DIA.	W	ΔLa	A	Dia	W
50 ✓							





COULTER COUNTER® Model T

PARTICLE SIZE ANALYSIS

75 - 300 μ
5 PERCENT

COULTER
PMS # 70 51
MILLIAM

COULTERS
9978
MCS

ORGANIZATION

OPERATOR

EQUIPMENT

$$s = d \sqrt{\frac{V}{A}}$$

$$\frac{A_1}{A_2} = \left(\frac{d_1}{d_2}\right)^3 \text{ when } V_1 = V_2$$

SAMPLE

MCS

SAMPLE NO. **BLAME 4270 Cont/g** ELECTROLYTE

DIFFERENTIAL

APPR. VISC **50M**

SERIAL

PART DIA.

V

Δ LA

A

DIA.

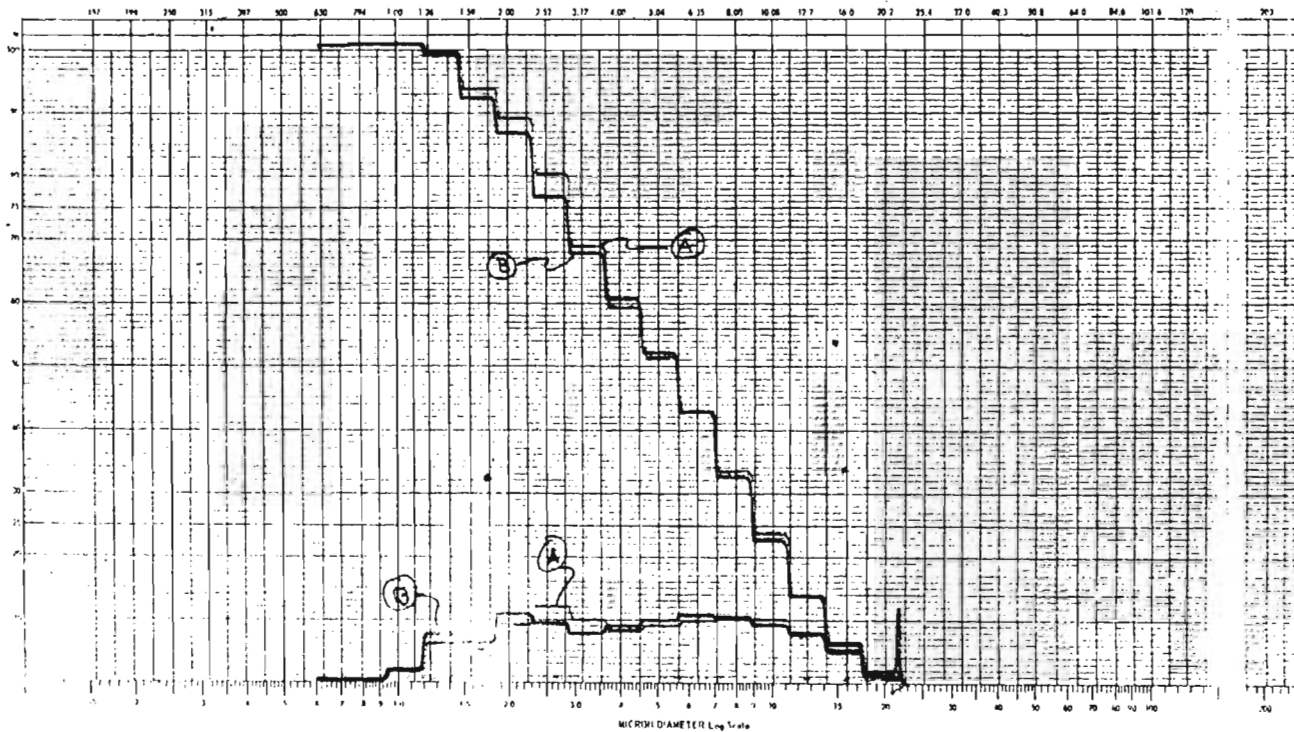
V

LA

A

A **301341**

B **311613**



COULTER COUNTER Model T

PARTICLE SIZE ANALYSIS

COUNTS
PERCENT
SCALE

WHS
WHS

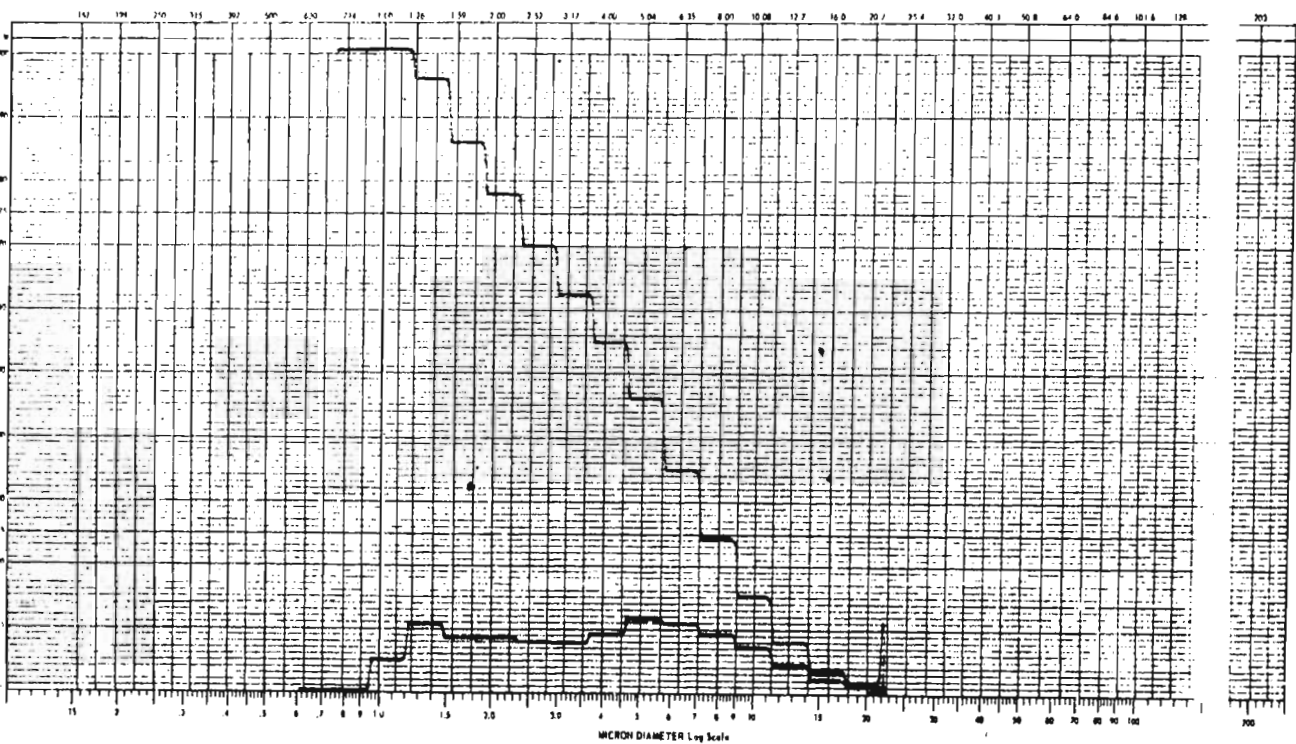
OPERATOR
EQUIPMENT
SAMPLE
DISPERGENT

$$L = d \sqrt{\frac{Z^2}{A}}$$

$$\frac{dZ}{dt} = \left(\frac{dZ}{dt}\right)^1 \text{ when } W_2 = W_1$$

APERTURE	SERIAL	PARAMETER	W	SLA	A	DIAL	W
50μ							

SAMPLE	WHS
BLAINE 4270 cm ³ /g	
219874	





Coulter Counter® Model T

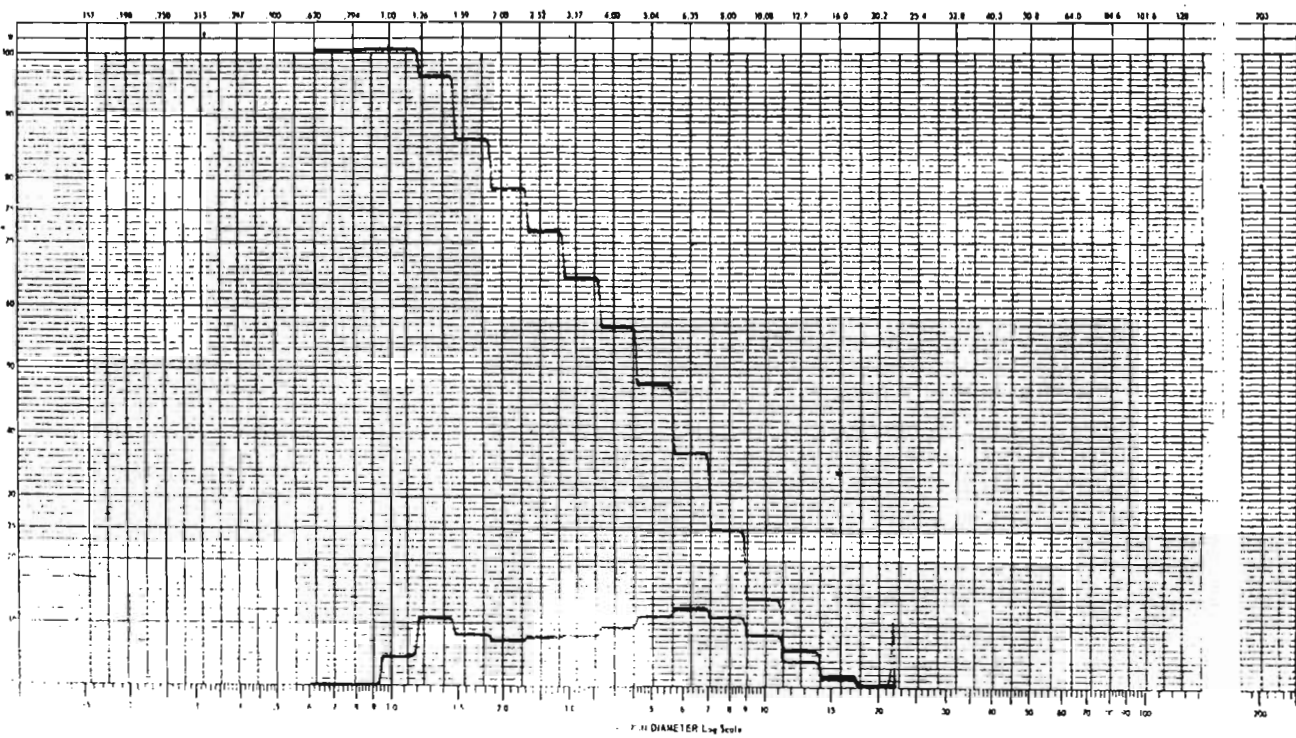
PARTICLE SIZE ANALYSIS

.15 - .300 μ
X PERCENT

Coulter
900 W 20 17
DIAL BANK

FORMET INC.
15000

DILUTION		$L = d \sqrt{\frac{F}{A}}$		$\frac{A_1}{A_2} = \left(\frac{d_1}{d_2}\right)^3$ when $W_2 = W_1$		SAMPLE		TIMES													
OPERATOR		APERTURE SIZE		SERIAL		PART DIA.		W		S 1A		A		MIL.		W		t 1A		A	
EQUIPMENT		DISPERSANT		50M																	
SAMPLE BLAINE 4270 cm ³ /g 218 089																					





COULTER COUNTER Model T

PARTICLE SIZE ANALYSIS

15 200
3 PERCENT
COULTER
590 W 20 11
MILFAM

PHILS INC
710

APPLICANT: _____
 OPERATOR: _____
 TITRATION: _____

SAMPLE: BLAINE 4270 cm²/g
 822.647

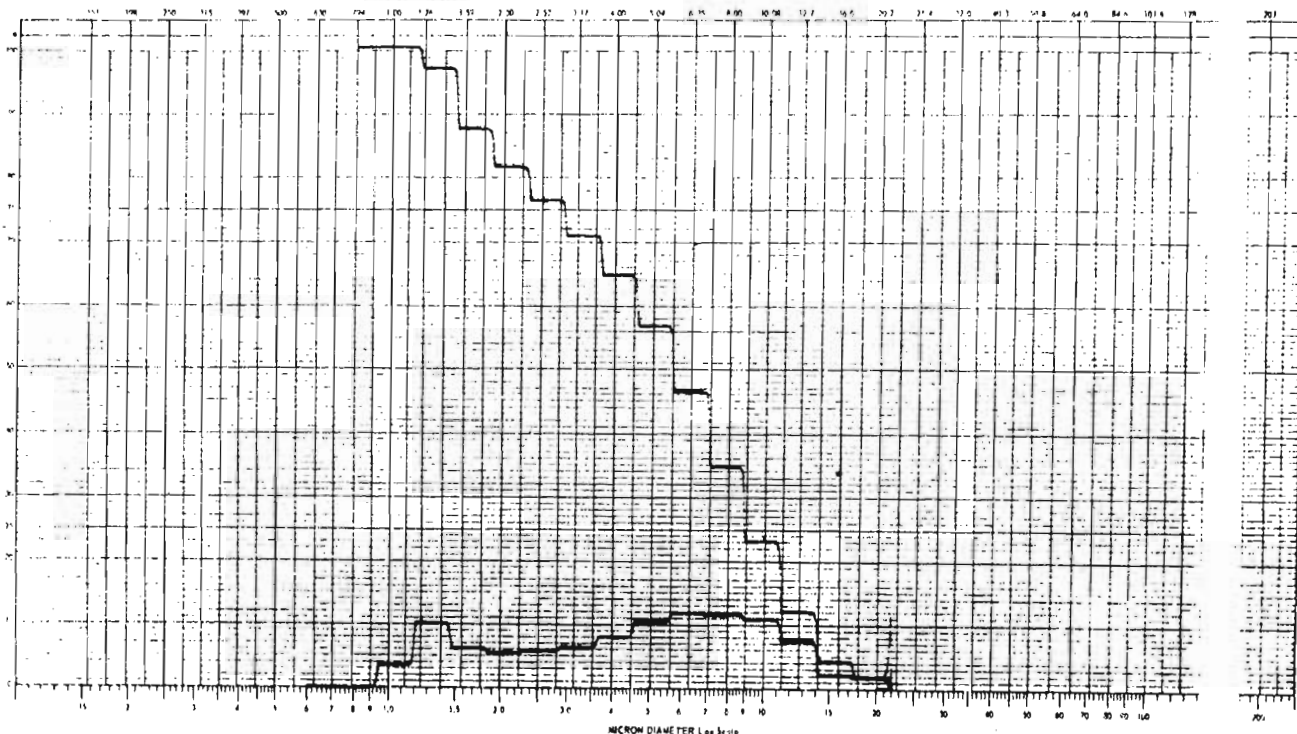
ELECTROLYTE: _____
 DIFFERENTIAL: _____

$V = 2 \sqrt{\frac{V^2}{k}}$ $\frac{d_1}{d_2} = \left(\frac{Q_1}{Q_2}\right)^{1/3}$ $W_2 - W_1$

APERTURE	SERIAL	PART DIA	W	3.14	A	DIA	W
56							

SAMPLE: _____
 WGS: _____

1	2	3	4
---	---	---	---



1	2	3	4
---	---	---	---



COULTER COUNTER® Model T

PARTICLE SIZE ANALYSIS

15 - 200 μ
X PERCENT

COULTER T
990 N 30 ST
MILWAUKEE, WI
1969

IDENTIFICATION

OPERATOR

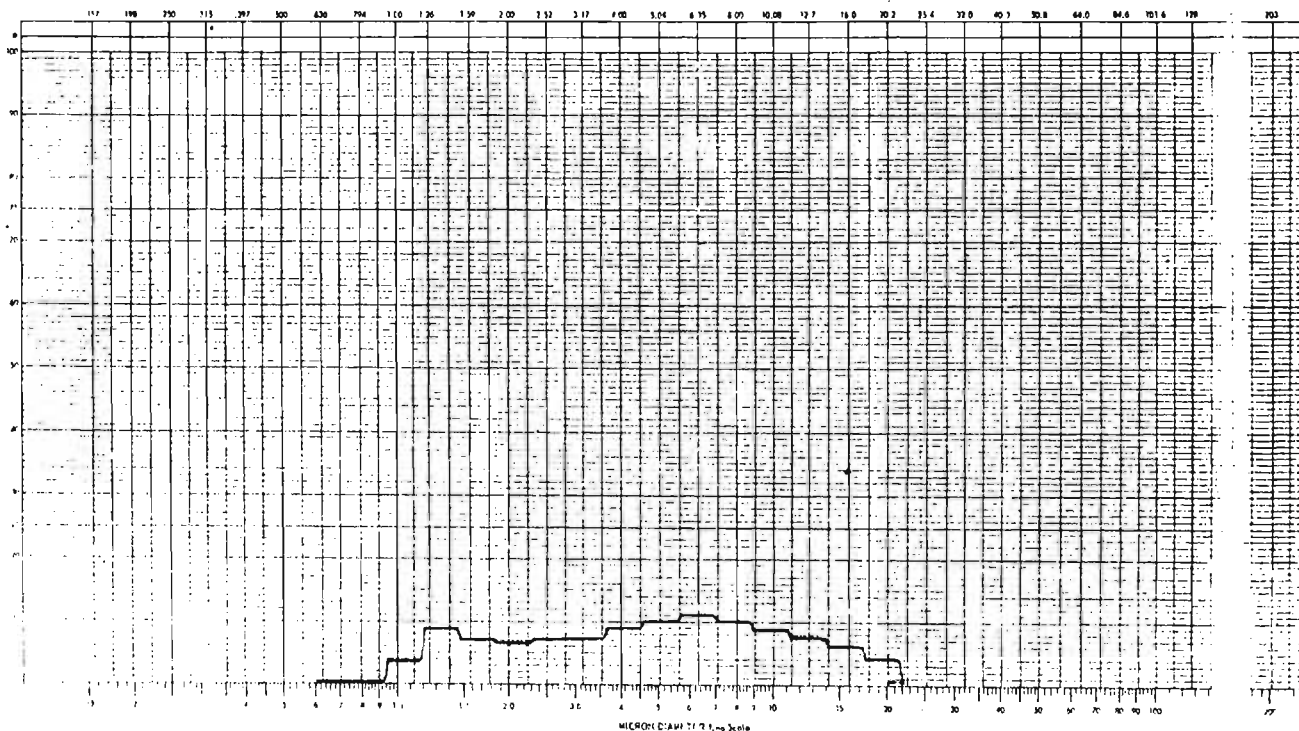
EQUIPMENT

$$d = d \sqrt{\frac{V}{A}}$$

$$\frac{A_2}{A_1} = \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^3 \text{ where } W_2 = W_1$$

SAMPLE #

SAMPLE	DISPERSEANT	APER. SIZE	SERIAL	PART DIA.	W	Δ IA	A	DA.	W	Δ IA	A
BLAINE 4270 cm ² /g 235 257		50 μ									



T A B L A A.11

Distribución de partículas de 3.17 a 64 micrones para una mezcla con superficie específica de 4261 cm²/g usando un tubo de apertura de 140 micrones de diámetro.

		CONTEO TOTAL			
CANAL	DIAMETRO	181995	161383	197843	191845
	MICRONES	DISTRIBUCION EN PORCENTAJE			
1	2.00	0	0	0	0
2	2.52	0	0	0	0
3	3.17	11.9	14.0	12	9.5
4	4.00	14.5	17.0	13.9	11.0
5	5.04	10.0	11.0	11.0	10.0
6	6.35	9.0	11.0	8.0	7.0
7	8.00	10.2	11.7	9.0	8.0
8	10.08	12.0	12.0	10.0	9.0
9	12.70	13.0	11.0	11.8	10.4
10	16.00	12.0	8.0	11.0	11.0
11	20.20	8.9	5.9	9.0	10.2
12	25.40	4.0	3.0	6.5	8.9
13	32.00	0.9	1.5	3.20	5.0
14	40.30	0.5	0.5	0.90	2.4
15	50.80	0.5	0.0	0.50	0.9
16	64.00	0.0	0.0	0.50	2.0

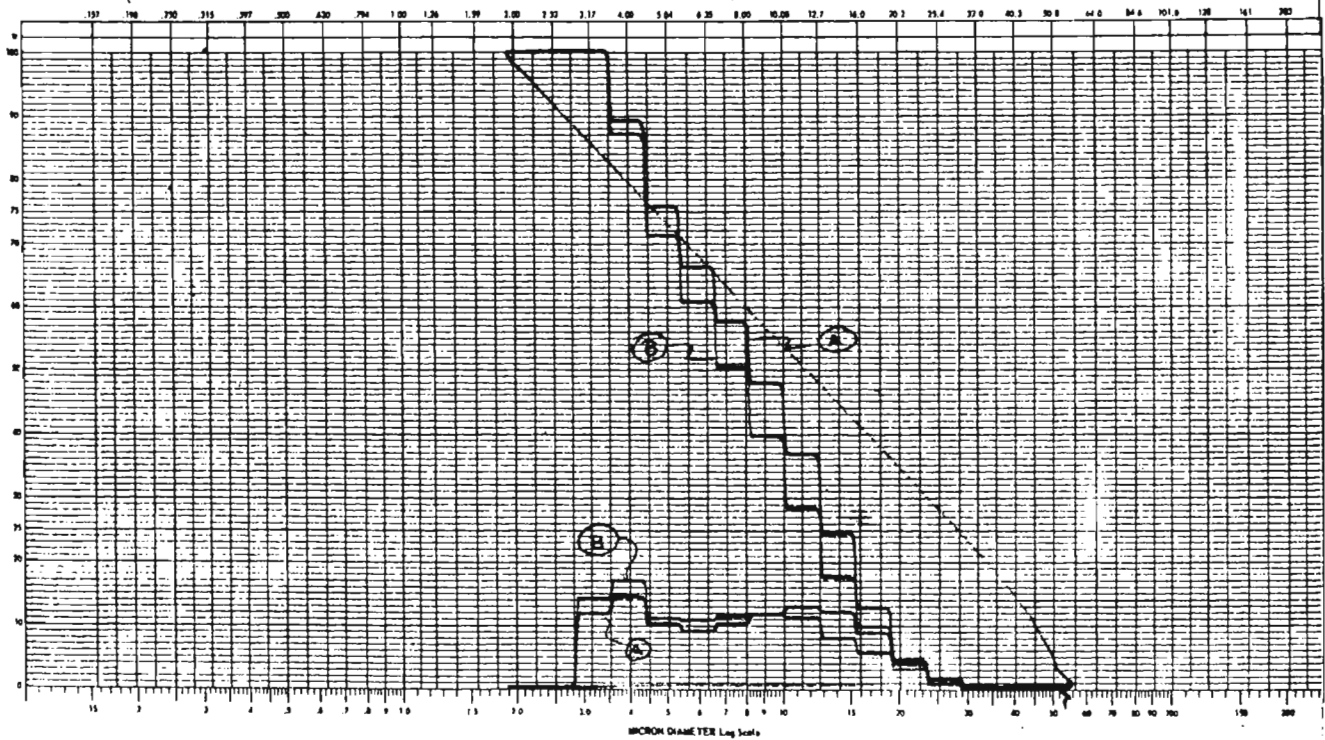


COULTER COUNTER® Model T

PARTICLE SIZE ANALYSIS

18 - 300 μ
5 PERCENT
COULTER ELECTRONICS INC.
200 N 20 ST.
MILWAUKEE, WIS. 53212

ORGANIZATION		$v = d \sqrt{\frac{P}{T}}$		$\frac{d_1}{d_2} = \left(\frac{R_1}{R_2}\right)^3$ when $W_1 = W_2$		SAMPLE LETTERS			
OPERATOR		APERT. SIZE	SERIAL	FLAT	W	Σ SA	A	Σ SA	A
EQUIPMENT		ELECTROLYTE	DISPERSANT	140M					
SAMPLE	BLANK								
A	181995								
B	161383								





COULTER COUNTER® Model T

PARTICLE SIZE ANALYSIS

.15 - 300 μ
± PERCENT

COULTER ELECTRONICS INC.
P.O. BOX 17,
MILWAUKEE, WIS. 53216

ORGANIZATION

OPERATOR

$V = d \sqrt{\frac{F}{A}}$
 $\frac{d^2}{dt} = \left(\frac{d}{dt}\right)^2$ where $W_2 = W_1$

SAMPLE SETTINGS

EQUIPMENT

APERT. SIZE

SERIAL

FLY
DIAL

V

Δ SA

Δ

DIAL

V

Δ SA

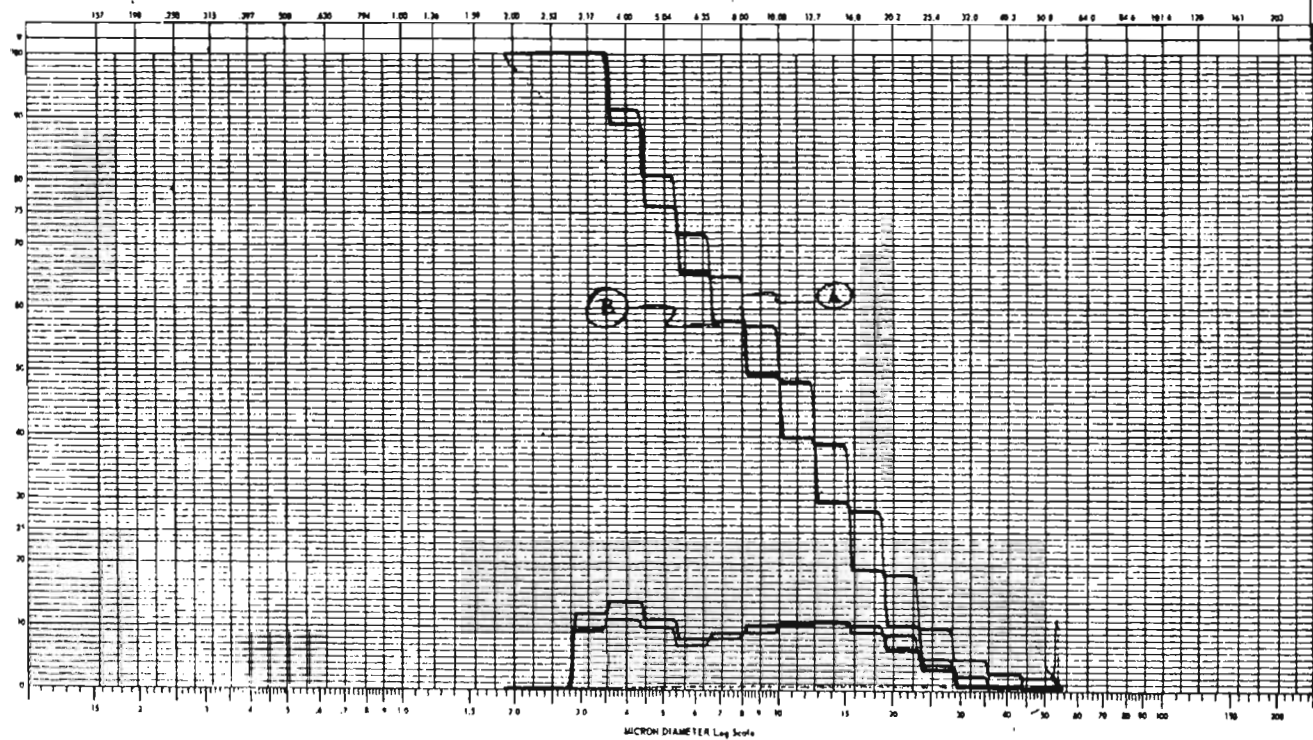
Δ

SAMPLE B2 A22W 4.621 cm²/g ELECTROLYTE _____ DISPERSANT _____

140 μ

A 191845

B 97743



T A B L A A.12

Distribución de partículas de 1.26 a 25.4 micrones para mezcla superficie específica 4261 cm²/g Blaine utilizando un tubo de apertura de 50 micrones.

		CONTEO TOTAL								
CANAL	DIAMETRO MICRONES	219834	218089	222657	230215	227443	235257	195420	164195	233563
		DISTRIBUCION EN PORCENTAJE								
1	.794	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	1.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	1.26	5.0	4.5	3.5	5.0	4.5	3.7	3.0	2.9	2.5
4	1.39	10.9	10.9	10.0	11.3	0.7	8.9	7.9	4.2	7.2
5	2.00	8.9	8.0	6.0	10.2	9.5	7.0	5.9	5.5	5.0
6	2.52	8.9	7.0	5.5	9.2	8.2	6.5	8.5	13.0	12.9
7	3.17	8.0	7.9	5.9	9.9	9.3	7.0	8.2	11.0	11.0
8	4.00	7.9	8.0	6.2	9.9	9.0	7.1	7.9	12.3	16.9
9	5.04	9.0	9.3	8.0	11.5	10.7	9.0	6.5	6.7	7.9
10	6.35	11.8	11.0	10.5	11.9	11.5	10.0	7.5	11.9	12.2
11	8.00	11.0	12.3	11.9	11.0	11.0	11.0	8.2	10.0	9.7
12	10.08	9.0	11.0	11.6	7.0	8.3	10.0	8.7	7.2	6.5
13	12.70	7.2	8.0	11.0	3.5	4.5	8.9	9.9	6.0	5.7
14	16.00	4.5	4.0	7.5	3.0	3.0	7.5	9.9	6.9	2.9
15	20.20	2.0	1.0	2.0	0.0	1.0	6.0	8.2	2.9	1.0
16	25.40	1.5	0.0	2.0	0.5	0.0	4.0	4.0	2.0	0.0



Coulter Counter® Model T

PARTICLE SIZE ANALYSIS

-15 - 200 μ
% PERCENT

COUNTED
NO. OF PULSES
MULTIPLIER

FORMULA NO.
NO.

OPERATION

OPERATOR

$$I = I_0 \sqrt{\frac{V}{V_0}}$$

$$\frac{dV}{V} = \left(\frac{dD}{D}\right)^2 \text{ when } D_1 = D_2$$

SAMPLE

NO.

EQUIPMENT

APER. SIZE

SERIAL

FLUX
MIL.

V

d Ia

A

NO.

V

d Ia

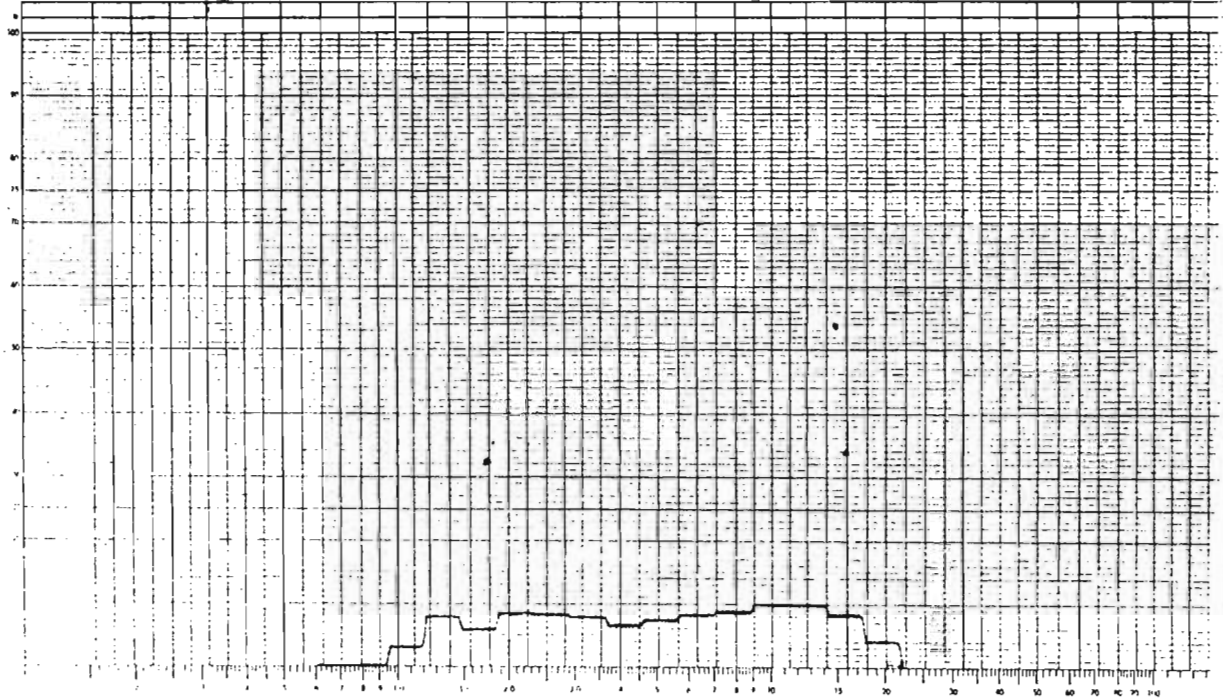
A

LAB. NO. **BLARINE** 4621 cm²/g ELECTROLYTE

WATERMARK

50 μ

151 160 170 180 190 200 210 220 230 240 250 260 270 280 290 300 310 320 330 340 350 360 370 380 390 400 410 420 430 440 450 460 470 480 490 500 510 520 530 540 550 560 570 580 590 600 610 620 630 640 650 660 670 680 690 700 710 720 730 740 750 760 770 780 790 800 810 820 830 840 850 860 870 880 890 900 910 920 930 940 950 960 970 980 990 1000



MICRON DIAMETER - 10 μ

COULTER COUNTER® Model T

PARTICLE SIZE ANALYSIS

COULTER ELECTRONICS INC.
18 - 799
9 PERCENT
990 N 30 ST
MILWAUKEE WIS 53219

RELATIONSHIP

OPERATOR

EQUIPMENT

$$V = d \sqrt{\frac{F}{T}}$$

$$\frac{d_1}{d_2} = \left(\frac{F_1}{F_2}\right)^{1/2} \text{ when } W_1 = W_2$$

SAMPLE

TIME

SAMPLE BLAIR 4621 cm^2/g ELECTROLYTE
264195

DIFFERENTIAL

APER. SIZE 50 μ

SERIAL

FLUX DIA.

W

S 1A

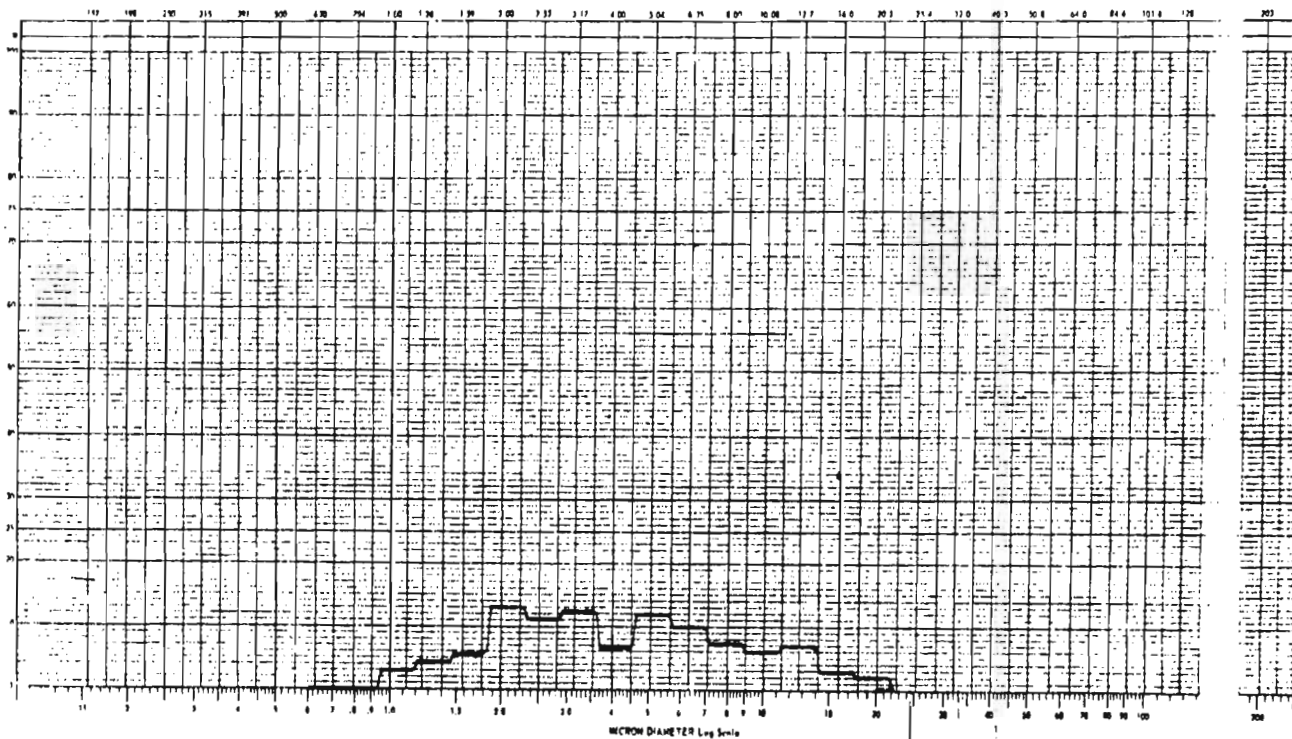
A

DIA

W

1A

A





COULTER COUNTER® Model T

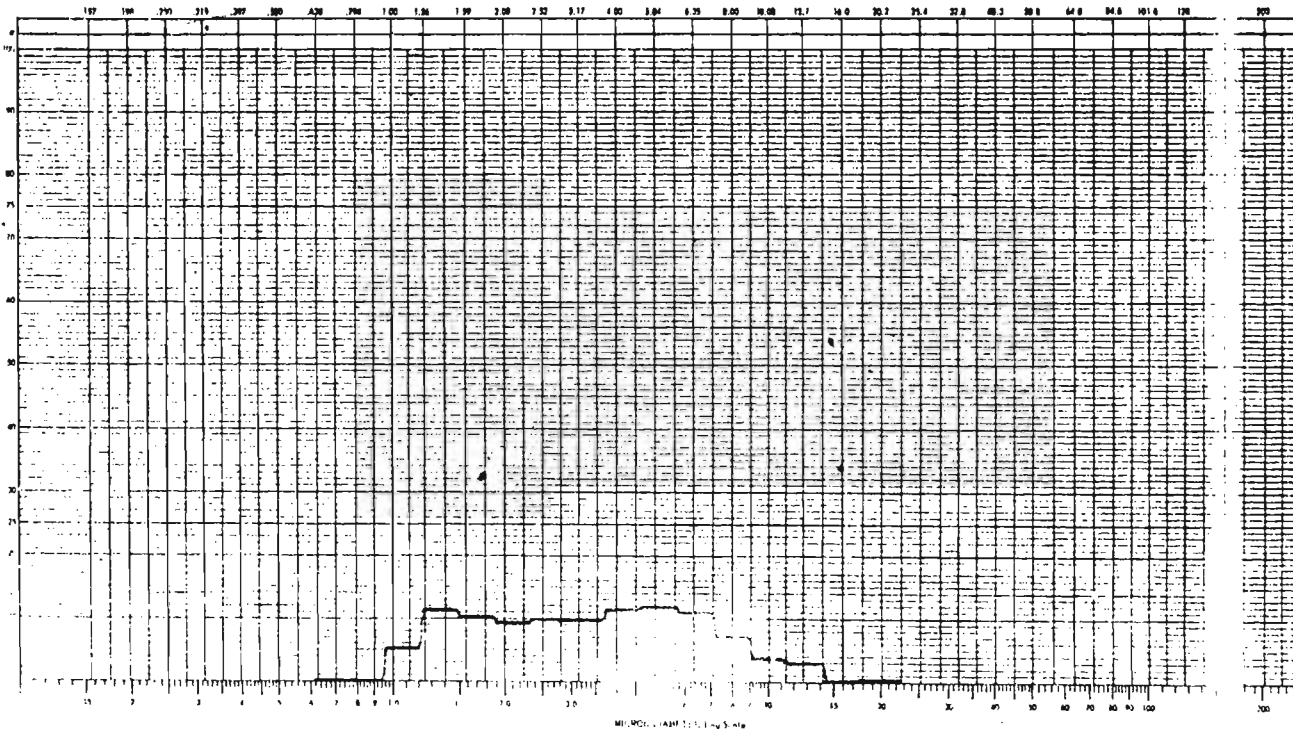
PARTICLE SIZE ANALYSIS

15 - 200 μ
2 PERCENT

COULTER
200 W 20 11
MAG. 200

COULTER INC.

DEFINITION				$V = \sqrt{\frac{A}{\pi}}$				$\frac{A}{A_1} = \left(\frac{V}{V_1}\right)^2$ when $U_1 = U_2$				SAMPLE NO.							
OPERATOR				APPR. SIZE		SERIAL		FLAT DIAL		V		S.D.A.		A		DIA.		V	
EQUIPMENT				ELECTROLYTE		DISPENSING		50 μ											
SAMPLE				BLAISE 4621 cm ² /g		230.215													



MIL. PCH. 11-14-54

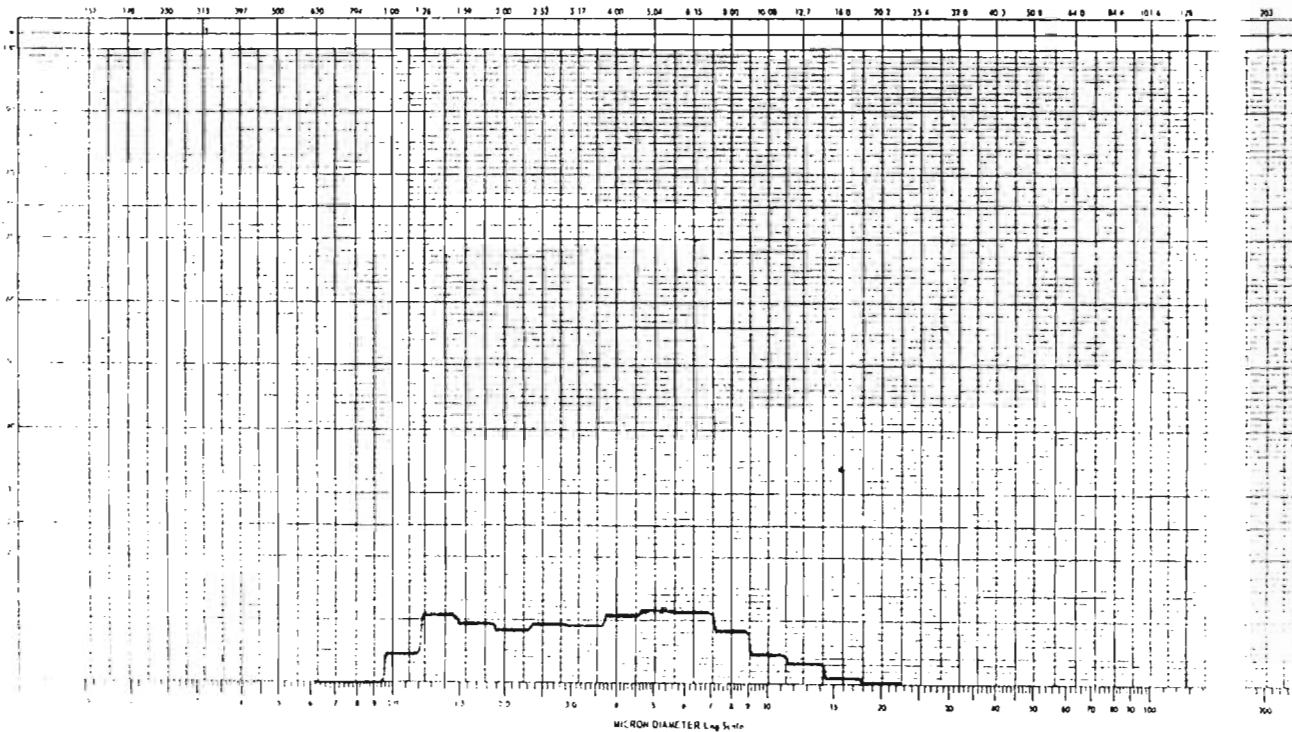
COULTER COUNTER® Model T

PARTICLE SIZE ANALYSIS

19 - 200 μ
2 PERCENT

COULTER
SERIAL

$V = d \sqrt{\frac{P}{A}}$		$\frac{d_1}{d_2} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^2$ when $W_1 = W_2$		SAMPLE NO.	
SAMPLE BLAINE 4621 cut/g 227443	ELECTROLYTE	DISPERSANT	APERTURE 50 μ	SERIAL	PART DIA.



BIBLIOGRAFIA.

- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Cement, Lime, Gypsum American Society for Testing and Materials, Baltimore, U.S.A. 1968
- BEKE, B. (BUDAPEST) Grinding methods, granulometric Composition, and strength development of diferent cements
Zement Kalk Gips Vol. 13 - - Nr. 9 pags 419 - 424
- BLAINE, RAYMOND L. A Simplified Air Permeability Fineness Apparatus
ASTM Bulletin August 1943
- BOMKE, K. Kohle and Zement,
Zement Kalk Gips, Souder ans- gabe Nr. 6,100
- COULTER ELECTRONICS INC. Coulter Manual Model. T.A.
Miami Fla. 1973
- CZERMIN, W. Uber die Rolle der Feinstan- teille im Porfland Zemet.
Zement Kalk Gips 7 (1954)
160 - 167
- GRUNDER, W. UND TABBAH, S. Der Eimfluz der Feinheit auf die Anfangs und Endfestigkei- ten Von Portland-Zement
Zement Kalk Gips 3 (1950)
67 - 71
- LABAHN, OTHO Y KAMINSKY, W. Prontuario del Cemento
Editores Técnicos Asociados,
S.A.
Barcelona 1970

STEJERT N.P. UND GINSBORG J.N.

Einfluz der Mahlteinheit
auf die Eigenschaften des
zements
Cement (russ). (1954) Nr. 3

TAYLOR, H.F.W.

Quimica de los Cementos
Vol. I y II
Ediciones Urmo
Bilbao, 1967

VENUAT, M. Y PAPADAKIS, M.

Fabricación, Características
y Aplicaciones de los Diver-
sos Tipos de Cemento
Editores Técnicos Asociados,
S.A.
Barcelona 1968