

Dej. 126



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

**AGENTES ANTI - AGLOMERANTES:
USO E IMPORTANCIA EN LA
INDUSTRIA ALIMENTARIA**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
QUIMICO FARMACEUTICO BIOLOGO
P R E S E N T A :
FLAVIO ALBERTO URIBE TREJO



México, D. F.

**EXAMENES PROFESIONALES 1987
FAC. DE QUIMICA**



Universidad Nacional
Autónoma de México



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 está 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.

I N D I C E

	Página
INDICE DE TABLAS	4
INDICE DE FIGURAS	5
1.- OBJETIVOS	7
2.- INTRODUCCION	9
2.1.- GENERALIDADES	10
2.1.1.- DEFINICION Y FUNCION	10
2.1.2.- TIPOS DE AGENTES ANTI-AGLOMERANTES.....	12
2.1.3.- MECANISMOS DE ACCION	13
2.1.4.- TOXICIDAD	20
2.1.5.- MERCADO DE LOS AGENTES ANTI- AGLOMERANTES EN MEXICO	21
2.1.6.- AGENTES ANTI-AGLOMERANTES COMER- CIALES EMPLEADOS EN MEXICO	23
2.2.- JUSTIFICACION.....	25
3.- METODOLOGIA	27
3.1.- PROCEDIMIENTO	28
3.1.1.- ELECCION DE LOS MATERIALES A EVALUAR	28
3.1.2.- PRIMERA FASE	30
3.1.3.- SEGUNDA FASE	33
4.- RESULTADOS	35
5.- ANALISIS DE RESULTADOS	58
6.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	71
7.- BIBLIOGRAFIA	75
8.- ANEXO	80

I N D I C E D E T A B L A S

Tabla N°	Página
1 CARACTERISTICAS DE ALGUNOS ANTI-AGLOMERANTES COMERCIALES	14
2 CARACTERISTICAS DE 4 TIPOS DE SILICA GEL	16
3 INGESTION DIARIA ACEPTABLE DE LOS AGENTES ANTI-AGLOMERANTES EMPLEADOS ACTUALMENTE	21
4 EMPRESAS POTENCIALMENTE CON SUMIDORAS DE ANTI-AGLOMERANTES ESTABLECIDAS EN MEXICO	22
5 DATOS COMERCIALES DE 2 FABRICANTES DE DIOXIDO DE SILICIO	24
6 CONCENTRACIONES DE EMPLEO DE LOS MATERIALES EVALUADOS	29
7 HUMEDAD RELATIVA DE LAS SOLUCIONES SALINAS SATURADAS EMPLEADAS	30
8 CLAVES DE IDENTIFICACION DE LOS MATERIALES EVALUADOS	36 y 37
9 RESULTADOS DE % DE AGLOMERACION A 23, 52, 75 y 85% H.R.	38
10 RESULTADOS DE DENSIDAD APARENTE A 23, 52, 75 y 85% H.R.	42
11 RESULTADOS DE % DE HUMEDAD A 23, 52, 75 y 85% H.R.	47
12 RESULTADOS GLOBALES DE LA SEGUNDA FASE (75% H.R.)	53

INDICE DE FIGURAS

Figura N°	Página
1 y 2	EFFECTO DE LA CONCENTRACION DEL ANTI-AGLOMERANTE SOBRE LA VELOCIDAD DE FLUJO DE LOS POLVOS 11
3	ESTRUCTURA DE LA SILICA GEL 16
4	ISOTERMA DE ADSORCION TIPICA DE UN ALIMENTO 17
5	ISOTERMAS DE ADSORCION DE DIVERSOS TIPOS DE SILICAS 18
6	SILICAS HIDROFILA E HIDROFOBA 20
7	FORMACION DE PUENTES LIQUIDOS Y POSTERIOR SOLIDIFICACION POR CAUSA DE LA PERDIDA DE HUMEDAD 25
8	DISPOSITIVO EMPLEADO PARA LA DETERMINACION DE DENSIDAD APARENTE 32
9	DISPOSITIVO EMPLEADO PARA DETERMINAR VELOCIDAD DE FLUJO 33
10	% DE AGLOMERACION VS TIEMPO A 23% H.R. 39
11	% DE AGLOMERACION VS TIEMPO A 52% H.R. 39
12a y b	% DE AGLOMERACION VS TIEMPO A 75% H.R. 40
13a y b	% DE AGLOMERACION VS TIEMPO A 85% H.R. 41
14a y b	DENSIDAD APARENTE VS TIEMPO A 23% H.R. 43
15a y b	DENSIDAD APARENTE VS TIEMPO A 52% H.R. 44
16a y b	DENSIDAD APARENTE VS TIEMPO A 75% H.R. 45
17a y b	DENSIDAD APARENTE VS TIEMPO A 85% H.R. 46
18a y b	% DE HUMEDAD VS TIEMPO A 23% H.R. 48

Figura N°		Página
19a y b	% DE HUMEDAD VS TIEMPO A 52% H.R.....	49
20a y b	% DE HUMEDAD VS TIEMPO A 75% H.R.....	50
21a y b	% DE HUMEDAD VS TIEMPO A 85% H.R.....	51
22	% DE AGLOMERACION VS TIEMPO PARA LAS MEZCLAS CON CaCl_2	52
23a y b	VELOCIDAD DE FLUJO VS TIEMPO A 75% H.R. (SEGUNDA FASE)	54
24a y b	% DE AGLOMERACION VS TIEMPO A 75% H.R. (SEGUNDA FASE)	55
25a y b	DENSIDAD APARENTE VS TIEMPO A 75% H.R. (SEGUNDA FASE)	56
26a y b	% DE HUMEDAD VS TIEMPO A 75% H.R. (SEGUNDA FASE)	57
27	ESTRUCTURA QUIMICA DE ALGUNOS DE LOS MATERIALES EVALUADOS	60
28	MODELO DE MEZCLA ANTI-AGLOMERANTE	66
29	RELACION AREA EXPUESTA/ VOLUMEN DE TRES DISTINTOS RECIPIENTES	69

1.- OBJETIVOS..

Actualmente, en México existe muy poca información publicada acerca de los agentes anti-aglomerantes; no obstante es muy grande la demanda de estos aditivos en la industria alimentaria. Por otra parte, el costo de los agentes anti-aglomerantes importados es elevado.

Así, los hechos anteriores motivaron la realización del presente trabajo, cuyos objetivos fueron los siguientes:

- Recopilar la mayor cantidad posible de información acerca de los agentes anti-aglomerantes, para lograr una visión más completa de los mismos.
- Evaluar la efectividad como anti-aglomerantes de algunos materiales que actualmente no son empleados con esta finalidad.
- Con base a los resultados obtenidos en la evaluación y las características fisicoquímicas de los materiales evaluados, establecer algunos de los requisitos que debe reunir un material, para ser empleado como anti-aglomerante con buenos resultados.
- Considerando el costo y la dosificación, establecer la factibilidad de aplicar industrialmente alguno(s) de los materiales evaluados.

2.- I N T R O D U C C I O N .

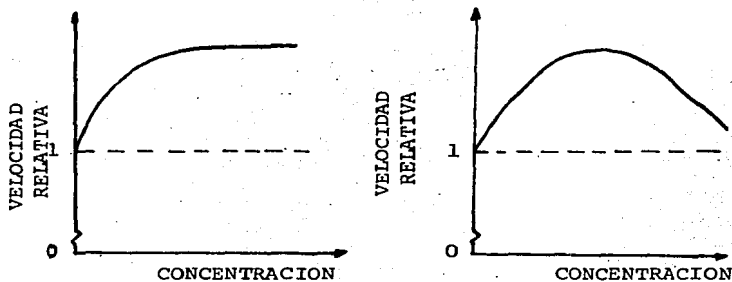
2.1.- GENERALIDADES:

2.1.1.-Definición y función:

Los agentes anti-aglomerantes, también conocidos como anti-apel mazantes, lubricantes y auxiliares de flujo, son sustancias sólidas de partícula fina, que pueden o no ser inertes y que se adicionan a productos en polvo con la finalidad de inhibir la tendencia de estos productos a aglomerarse y mejorar su fluidez.

Para que el agente anti-aglomerante actúe de manera efectiva, sus partículas deben adherirse a la superficie de las partículas del polvo que se desea proteger y cubrirlas en la totalidad de su superficie (28,36). La afinidad entre la superficie de las partículas del polvo y del anti-aglomerante es importante para que ocurra lo anteriormente dicho. Si la afinidad entre ambas superficies existe, se forma lo que se conoce como una mezcla ordenada, la cual se llama así debido a que las partículas del agente solamente se encuentran en la superficie de las partículas del polvo (siempre que no haya un exceso del agente). Cuando no existe afinidad entre ambos tipos de partículas la cobertura es escasa o nula, con lo cual las partículas del anti-aglomerante se encuentran distribuidas al azar en todo el volumen de la mezcla; a esto último se le conoce como una mezcla aleatoria (36).

La concentración óptima de estos aditivos es menor al 2% generalmente; sin embargo, esta concentración para cada producto debe ser determinada por medio de ensayo con diferentes concentraciones del aditivo, ya que más allá de la concentración óptima como auxiliar de flujo, no se observará mayor mejora en las propiedades de flujo del polvo y a veces puede provocarse una disminución de la fluidez del producto, además de constituir un costo excesivo el exceso del anti-aglomerante. En las figuras 1 y 2 puede observarse el efecto de la concentración del anti-aglomerante en la velocidad de flujo de un polvo (36).



FIGURAS 1 y 2. EFECTO DE LA CONCENTRACION DEL ANTI-AGLOMERANTE SOBRE LA VELOCIDAD DE FLUJO DE LOS POLVOS.

En las dos figuras anteriores, la línea punteada, a la cual le corresponde una velocidad relativa de 1, es la velocidad de flujo de un polvo sin la adición del agente anti-aglomerante.

En la figura 1 se observa que la velocidad de flujo del polvo se incrementa a medida que la concentración del anti-aglomerante aumenta, hasta un punto en el cual ya no hay mayor mejora en el flujo del polvo y entonces la velocidad permanece constante, a pesar de seguir aumentando la concentración del aditivo. Este tipo de comportamiento se presenta en polvos tratados con sales del ácido esteárico. Se piensa que, por causa de su naturaleza grasa, estas sales actúan como lubricantes de las partículas del polvo al que se añaden, disminuyendo entonces la fricción entre ellas y de esta manera ayudan a que los polvos fluyan más fácilmente, hasta llegar al punto de máxima lubricación, más allá de la cual la velocidad ya no mejora.

En la figura 2, la velocidad de flujo del polvo también se incrementa a medida que aumenta la concentración del anti-aglomerante;

sin embargo, a cierta concentración se alcanza un máximo en la velocidad de flujo y posteriormente ésta desciende al seguir incrementándose la concentración del aditivo. Este comportamiento se observa con la mayoría de los agentes anti-aglomerantes. Se piensa que el valor máximo en la velocidad de flujo, se alcanza cuando cada partícula de polvo es cubierta con una capa monoparticular del agente anti-aglomerante; de esta manera las partículas del polvo se deslizan entre sí, como si lo hicieran sobre pequeños balines. El posterior descenso en la velocidad de flujo, ocurre cuando después de formar la capa monoparticular sobre el polvo, las partículas del anti-aglomerante comienzan a formar pequeños agregados entre ellas a causa del incremento de concentración y entonces estos agregados estorban el flujo de las partículas del polvo protegido.

Cabe mencionar que la función de los agentes anti-aglomerantes es preventiva, no correctiva; cuando un polvo se ha aglomerado de nada sirve adicionar el agente, éste no hará que el primero regrese a su estado de flujo original.

A pesar de que la mayoría de los anti-aglomerantes son insolubles en agua, algunos de ellos pueden adsorberla en cantidad considerable a causa de su composición y estructura química y también como resultado de su amplia área específica. El fundamento de acción de los diversos agentes anti-aglomerantes será tratado con mayor detalle en la sección 2.1.3.

2.1.2. Tipos de agentes anti-aglomerantes:

Actualmente existen en el mercado diversos materiales recomendados para emplearse como anti-aglomerantes, siendo los principales: dióxido de silicio (SiO_2); fosfatos; silicatos; sales del ácido esteárico y celulosa microcristalina entre otros, los cuales generalmente aparecen como marcas comerciales registradas. Se ha llegado a aceptar el empleo de ferrocianuro de sodio como anti-aglomerante; pero sólo para ser usado en sal de mesa (36).

Algunos de estos anti-aglomerantes se encuentran disponibles en un amplio intervalo de tamaño de partícula; esto ocurre principalmente con las diversas marcas comerciales de dióxido de silicio.

Como se mencionó anteriormente, la afinidad existente entre las partículas del polvo y del aditivo es importante para la efectividad de éste; así se puede deducir que un anti-aglomerante específico no siempre puede emplearse en cualquier tipo de polvo. Además, la concentración óptima de anti-aglomerante a emplearse generalmente varía entre los diversos tipos de polvos.

En la tabla 1 aparecen los principales tipos de agentes anti-aglomerantes empleados actualmente y algunos datos referentes a ellos.

2.1.3. Mecanismos de acción de los agentes anti-aglomerantes:

Se ha encontrado que, a pesar de que su finalidad es la misma, los distintos tipos de agentes anti-aglomerantes actúan de manera diferente, y cada modo de acción se fundamenta a la vez en la composición e incluso en la estructura de cada anti-aglomerante. Los distintos mecanismos de acción de los agentes anti-aglomerantes, que se han aceptado son los siguientes:

- Lubricación:

Se ha encontrado que en polvos no cohesivos, la fricción interna es un factor de fluidez dominante; así, algunos anti-aglomerantes pueden actuar en estos polvos como lubricantes, tal es el caso del estearato de calcio (33,36); se piensa que este mecanismo se fundamenta en su estructura grasa, promoviendo la formación de una superficie lisa. Cabe mencionar que algunos agentes anti-aglomerantes pueden incrementar la fricción interna, con lo cual reducen la fluidez del polvo.

- Modificación de la estructura cristalina:

Se ha encontrado que el ferrocianuro de sodio modifica la forma de cristalización cúbica del NaCl, hacia la formación de cristales dendríticos, los cuales son frágiles; de esta forma, en caso de condensarse humedad en la sal, previamente tratada con el agente, al recrystalizar aquella lo hará en forma tal que, aunque se formen puentes sólidos cristalinos, éstos serán fáciles de romper, con lo cual la sal fluirá libremente de nuevo.

TABLA 1.

TIPO Y MAYOR COMPONENTE ACTIVO	NOMBRE COMERCIAL	DENSIDAD APARENTE (g/cm ³)	DIAMETRO DE PARTICULA (. m)	AREA ESPECIFICA (m ² /g)	ALIMENTOS EN LOS QUE SE RECOMIENDA SU USO
<u>SILICATOS:</u> Dióxido de silicio	Syloid Zeosyl Cab-O-Sil	0.08-0.46 0.21-0.24 0.04-0.07	3-9 - 7-14	310-675 120-150 200-400	Saborizantes, huevo en polvo, sales, especias, sopas secas, cocoa, sustitutos de leche y blanqueadores de café, azúcar, queso, ácido cítrico. Polvos para hornear, huevo, productos lácteos, salsas.
Silicoaluminato de sodio.	Zeolex	0.26-0.29	18-45	65-130	
<u>ESTEARATOS:</u> De calcio De magnesio	- -	0.09-0.1 0.12-0.13	45 75	- -	Cebolla y ajo en polvo, sales curantes.
<u>FOSFATOS:</u> Tricálcico	-	0.32	45-106	-	Sal, azúcar, especias.
<u>OTROS:</u> Almidón despolimerizado	Maltrin	0.51-0.74	-	-	Mezcla de especias, edulcorantes artificiales.
Celulosa microcristalina despolimerizada	Avicel	-	20-90	-	Queso rayado, queso imitación mozzarella, mezclas secas.

-Cancelación de cargas electrostáticas:

De este mecanismo existe muy poca información; pero algunos investigadores han encontrado que, la particular afinidad entre las superficies de las partículas de ciertos alimentos con la superficie de algunos anti-aglomerantes, obedece a las cargas electrostáticas opuestas que presentan ambos (28,36).

-Competencia por la adsorción de agua:

Este mecanismo es considerado como el que presentan gran parte de los anti-aglomerantes; entre ellos el SiO_2 , que como se verá en el capítulo 1.1.6, es el más empleado en México con éste fin. Así, para comprender mejor la manera como actúan estas sílicas, a continuación se describe la manera como se fabrican éstas y después se explica detalladamente su fundamento de acción.

Fabricación: Este tipo de sílicas es comúnmente conocido como "sílica gel". Se hacen por condensación del ácido silícico que se forma al reaccionar un silicato soluble con un ácido fuerte. A cierto estado de la condensación ocurre la gelación de la solución coloidal, produciéndose el gel. El gel está constituido por gran cantidad de partículas elementales que imparten inicialmente un carácter coloidal a la solución; cada partícula elemental está formada por una red tridimensional de ácido silícico tetraédrico, en el cual cada átomo de oxígeno está unido a dos átomos de silicio y cada átomo de silicio está unido a cuatro de oxígeno. En el estado de gelación también ocurre la condensación de grupos OH de diferentes partículas elementales, las cuales se unen por puentes siloxano (Si-O-Si). La red tridimensional de estas partículas elementales es irregular, por lo cual la estructura de estas sílicas es amorfa. Mientras las partículas poliméricas condensadas se hallan en el estado de hidrogel, ligan numerosas moléculas de agua por medio de la gran cantidad de grupos OH de su superficie, los cuales al ser secado el hidrogel para dar lugar a lo que se conoce como xerogel, son los responsables del carácter hidrofílico de esta sílica porosa (21). En la figura 3 se esquematiza la estructura de estas sílicas (44).

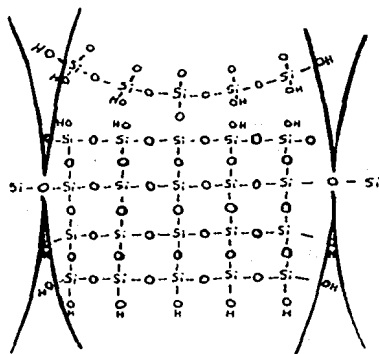


FIGURA 3. ESTRUCTURA DE LA SILICA GEL.

De la figura anterior, se observa que el sistema poroso está formado por los espacios existentes entre las partículas elementales de sílica. Entre estas sílicas porosas existen diferentes tipos, los cuales se distinguen entre sí por su tamaño de partícula, densidad aparente, área específica y volumen específico de poro principalmente. Como muestra de lo anterior, a continuación en la tabla 2 se presentan 4 diferentes tipos de una misma marca comercial de sílicas empleadas como anti-aglomerantes, con sus principales características (44).

TIPO DE SILICA	A	B	C	D
AREA ESPECIFICA (m ² /g)	675	340	340	310
DENSIDAD APARENTE (g/cm ³)	0.464	0.176	0.256	0.128
TAMAÑO DE PARTICULA (μ)	9	4	6	5
DIAMETRO PROMEDIO DE PORO (A)	20	150	150	200
VOLUMEN PROMEDIO DE PORO (cm ³ /g)	0.4	1.1	1.1	1.4

TABLA 2. CARACTERISTICAS DE 4 TIPOS DE SILICA GEL.

Las sílicas A, B y C son xerogeles, mientras que la sílica D es un aerogel. La diferencia entre esta última sílica y las tres

primera radica en la manera de sacar el hidrogel, ya que, para elaborar un aerogel, el agua retenida en el hidrogel es sustituida por alcohol, después éste es eliminado por éter, el cual es eliminado por aire y finalmente el agua restante que pudiera ligar el aerogel es eliminada secando a alta temperatura. Al eliminar el agua por alcohol y éste por éter se reduce la tensión superficial del líquido hasta ser totalmente eliminado por aire; con esto se evita la reducción del tamaño del poro (21).

Antes de explicar el fundamento de acción de este tipo de sílicas, veremos brevemente lo que es una isoterma de adsorción; ésta es descrita por Labuza (18) como una gráfica de la cantidad de agua adsorbida por un material en función de la humedad relativa o actividad del vapor de agua que se encuentra en el espacio que rodea al material. La cantidad de agua adsorbida es aquella que el material atrapó después de que el equilibrio ha sido alcanzado a una temperatura constante. Una isoterma de adsorción típica de un material alimenticio se muestra en la figura 4. En ésta se observa que la isoterma se divide en tres regiones: A, B y C. La región A corresponde a la adsorción de una capa monomolecular de agua; la región B corresponde a la adsorción de capas adicionales de agua sobre la capa monomolecular; finalmente la región C se forma por la condensación de agua en los poros del material. Esta isoterma corresponde a materiales con macroporos y según la clasificación de Brunauer es del tipo II (21).

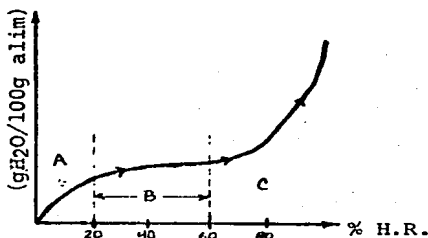


FIGURA 4. ISOTERMA DE ADSORCION TIPICA DE UN ALIMENTO.

El fundamento de acción de la sílica gel como anti-aglomerante, se debe a su carácter fuertemente hidrofílico el cual le permite adsorber humedad del medio circundante y así, al cubrir totalmente a las partículas del polvo que se desea proteger, impide que éste se aglomere rápidamente. Observando las isotermas que aparecen en la figura 5 se podrá comprender mejor el fundamento de acción. Estas isotermas corresponden a las mismas sílicas que aparecen en la tabla 2.

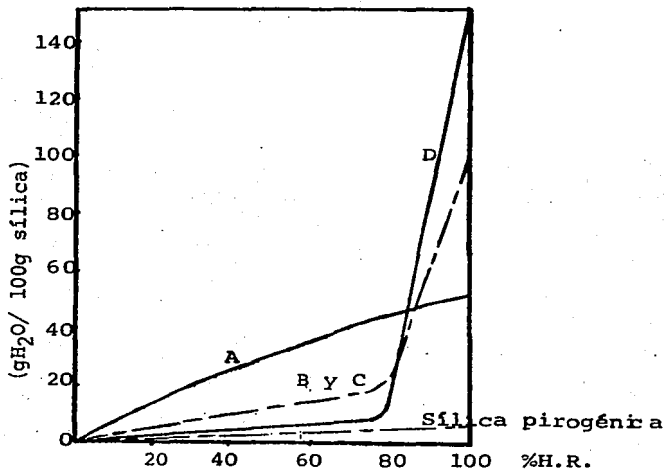
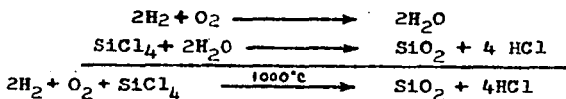


FIGURA 5. ISOTERMAS DE ADSORCION DE DIVERSOS TIPOS DE SÍLICAS.

Se puede observar que la isoterma de la sílica A es del tipo I según la clasificación de Brunauer, lo cual indica que se trata de una estructura microporosa. La forma de esta isoterma se debe al llenado gradual de los poros, aunque según Langmuir se debe a la formación de una monocapa de adsorbato sobre el adsorbente, lo cual tampoco puede descartarse totalmente, en especial si observamos que, para todas las isotermas, la cantidad de humedad adsorbida

da, hasta antes de 80% de humedad relativa, se relaciona directamente con el área específica que presentan. Sin embargo, en el caso de las sílicas B, C y D inmediatamente después de 80% H.R. se produce un agudo incremento en la cantidad de humedad adsorbida; esto se debe a que estas sílicas contienen macroporos (véase la tabla 2) y en este punto éstos empiezan a llenarse de agua por capilaridad, de tal forma que la humedad adsorbida es llevada más profundamente dentro de la sílica de estos tipos que en la sílica A, y de esta manera se evita al máximo el contacto de la humedad con el polvo que se está protegiendo. Así vemos que la cantidad de agua que puede atrapar una sílica como las analizadas anteriormente se relaciona directamente con el volumen específico de poro que presentan (véase la tabla 2). Finalmente en la figura 3 observamos que la cantidad de humedad adsorbida por una sílica pirogénica es menor que cualquiera de las sílicas porosas; esto es debido a que la sílica pirogénica no contiene poros y su área específica es inferior a la de las 4 sílicas anteriores; sin embargo, las sílicas pirogénicas también son empleadas como anti-aglomerantes con buenos resultados; pero para esto debe modificarse químicamente su superficie para volverla hidrofóbica en lugar de hidrofílica. La manera como son elaboradas las sílicas pirogénicas se describe brevemente a continuación:

A temperaturas aproximadamente de 1000°C se efectúa una hidrólisis de clorosilanos volátiles en una llama de hidrógeno y así se forma ácido silícico pirogénico de alta dispersión. La reacción efectuada es la siguiente:



Primeramente se obtienen partículas de un tamaño entre 10-20nm y el área específica de superficie puede ser modificada por las condiciones de reacción en un intervalo de 50-400 m²/g (32). Después de dejar la zona de combustión, la sílica en forma de aerosol se coagula a partículas de diámetro aproximado de 1-2 micras y se centri

fuga para separarla del HCl que también contiene mezcla de los gases de combustión. La sílica obtenida primeramente es hidrófila; después esta sílica es colocada en otro reactor en el cual los protones de los grupos silanol son transformados por una reacción directa con organosilanos y de esta manera estas sílicas se vuelven hidrófobas; por lo tanto no se humedecen con el agua y al cubrir totalmente a las partículas de un polvo, estas sílicas actúan como una barrera repelente al agua. En la figura 6 se esquematiza la diferencia entre la sílica hidrófila y la hidrófoba.

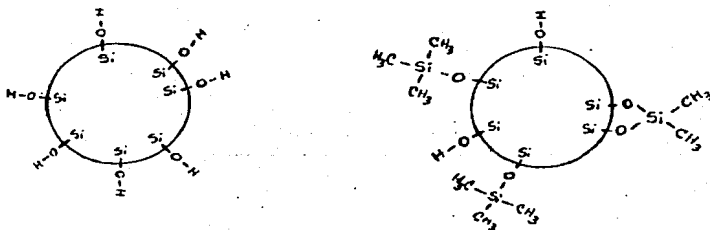


FIGURA 6. SILICA HIDROFILA E HIDROFOBA RESPECTIVAMENTE.

2.1.4. Toxicidad de los agentes anti-aglomerantes:

Como es de esperarse, para que un aditivo pueda ser empleado en un alimento no debe ser tóxico o bien, su toxicidad debe ser baja a la concentración de empleo. La Organización Mundial de la Salud (O.M.S.) ha evaluado la toxicidad de los diversos agentes anti-aglomerantes comerciales y se ha dictado lo que se conoce como Ingestión Diaria Aceptable (IDA) para ellos. Estas IDA han sido revisadas periódicamente; en la tabla 3 aparecen los valores establecidos para los agentes anti-aglomerantes que se emplean actualmente. Cabe mencionar que algunos fabricantes de estos aditivos efectúan análisis toxicológicos, cuyos resultados reportan en boletines que pueden ser proporcionados a quien se interese en obtener información al respecto. Así, por ejemplo, el fabricante de algunas de las sílicas que se emplean, recomienda el equipo de seguridad

que debe ser usado al estar aplicando estos productos, para el caso en que éstos, debido a su fino tamaño de partícula, pudiera esparcirse en el ambiente. Asimismo, en caso de que esto último ocurriera dicta las medidas de primeros auxilios que deben darse a alguien que haya tenido contacto excesivo en la piel y ojos con el agente, ya que a causa de su fuerte carácter hidrofílico puede reseca las mucosas de nariz y garganta, así como la piel (24,44).

AGENTE	IDA (mg/Kg de peso corporal)
Ferrocianuro de sodio, potasio y calcio.....	0-0.025
Fosfato tricálcico.....	0-70 como fósforo
Silicato de magnesio.....	Sin límite (temporal)
Silicato de aluminio.....	Sin límite
Silicato de calcio.....	Sin límite
Sales de ácidos grasos.....	Sin límite
Celulosa microcristalina.....	Sin límite
SiO ₂ amorfo.....	Sin límite

TABLA 3. INGESTION DIARIA ACEPTABLE DE LOS AGENTES ANTI-AGLOMERANTES EMPLEADOS ACTUALMENTE.

La única limitación para la concentración de las sustancias con IDA sin límite, es lo que establezcan las buenas prácticas de manufactura.

2.1.5. Mercado de los agentes anti-aglomerantes en México:

Actualmente se hallan establecidas en México 1500 empresas, aproximadamente, que elaboran productos en polvo o bien emplean ingredientes de este tipo para hacer sus productos, por lo cual son consumidores potenciales de agentes anti-aglomerantes. Estas empresas pertenecen principalmente al ramo alimentario y químico-farmacéutico. En la tabla 4 se desglosan los tipos de empresas de ambos ramos, que son potencialmente consumidoras de agentes anti

aglomerantes (10,23).

RAMO ALIMENTARIO	Nº de estableci- mientos
Fabricación de café soluble y envasado de Té.....	7
Fabricación de leche en polvo, evaporada y condensada.....	15
Fabricación de flanes, gela- tinas y productos similares.....	90
Fabricación de galletas y pastas alimenticias.....	60
Fabricación de cocoa y chocolate de mesa.....	25
Fabricación de féculas, leva- duras y polvos para hornear.....	18
Fabricación de frituras, pa- lomitas de maíz y similares.....	97
Fabricación de condimentos, refinación y envase de sal.....	25
Fabricación de refrescos y bebidas no alcohólicas.....	249
Fabricación de alimen- tos para animales.....	202
RAMO QUIMICO-FARMACUTICO	
Fabricación de productos far- macéuticos y medicamentos.....	392
Fabricación de cosméticos, perfu- mes y otros productos de tocador.....	169
Fabricación de resi- nas sintéticas.....	95

TABLA 4. EMPRESAS POTENCIALMENTE CONSUMIDORAS DE AGENTES ANTI-AGLOMERANTES ESTABLECIDAS EN MEXICO.

De los datos de la tabla 4 vemos que el ramo alimentario con-
stituye el 54.57% del mercado potencial de anti-aglomerantes (en lo
referente al número de establecimientos); sin embargo las empresas
del ramo alimentario enlistadas mayoritariamente elaboran produc-

tos o emplean ingredientes en polvo, mientras que en el ramo químico-farmacéutico lo anterior ocurre en menor proporción; por lo cual, el mayor peso del mercado de los anti-aglomerantes en México recae en el ramo alimentario realmente.

2.1.6. Agentes anti-aglomerantes comerciales empleados en México:

De acuerdo con la investigación mercadológica efectuada, se encontró que el compuesto que prácticamente es el único que se comercializa como agente anti-aglomerante es el dióxido de silicio (SiO_2). Se encontró que los fosfatos que se venden en México originalmente no son vendidos con la finalidad de ser empleados como anti-aglomerantes, sino más bien como complementos nutricionales.

La celulosa microcristalina que se vende en México, no es utilizada como anti-aglomerante. La cantidad de ésta que se vende en México son 100 toneladas, de las cuales solamente 5 se venden a empresas del ramo alimentario y son empleadas como estabilizantes en helados y alimentos para bebé o bien como sustituto de harina para alimentos bajos en calorías. Las 95 toneladas que se venden al ramo farmacéutico son empleadas como tableteadores. El nombre comercial de esta celulosa es Avicel y pertenece a FMC Corporation (14).

Como se mencionó inicialmente, en este capítulo, el SiO_2 es el único compuesto comercializado como anti-aglomerante. Prácticamente todo el mercado de este compuesto es cubierto por 4 grandes empresas. De 2 de estas empresas se obtuvieron algunos datos comerciales (40) los cuales se presentan en la tabla 5. Estas dos empresas realmente venden un porcentaje bajo de su producción de SiO_2 a empresas del ramo alimentario en México. Ambas empresas son transnacionales, una de ellas depende de la fábrica de sílicas más importante de los Estados Unidos de Norteamérica, mientras que la otra es de capital alemán y lleva el mismo nombre de la empresa a la que pertenece. Cabe aclarar que los datos presentados en este capítulo corresponden al mes de agosto de 1986.

COMPANIA	WATSON-PHILLIPS	DEGUSSA
AGENTE ANTI-AGLOMERANTE	Dióxido de silicio	Dióxido de silicio
NOMBRE COMERCIAL	Syloid (importado) Microsil	Degusil Sipernat
VOL. DE VENTAS (Ton/año)	130	30
VOL. DE VENTAS PARA LA IND. ALIMENTARIA (Ton/año)	40 (Microsil: 30 Syloid: 10)	15
PRECIO DEL AGENTE EN EL MERCADO	Microsil: \$1200/Kg Syloid: \$3500/Kg	Tanto Degusil como Sipernat: \$1500/Kg
SEGMENTACION DE MERCADO	Alimentos en polvo; pinturas y tintes; industria farmacéutica	Alimentos en polvo y para ganado; pinturas
IMPORTANCIA DE LAS VENTAS DE ANTI-AGLOMERANTES/VOL. TOTAL DE SUS VENTAS	Mínimo	10%
AÑO EN QUE I-CIO LA VENTA DE ANTI-AGLOMERANTES EN MEXICO	1966	1976
OTROS USOS DE ESTE COMPUESTO EN ALIMENTOS	Espesante, vehículo de otros ingredientes	Vehículo de otros ingredientes
OTRAS APLICACIONES INDUSTRIALES DEL COMPUESTO	Extendedor de pinturas, desecante, abrasivo en pastas de dientes, etc.	Elaboración de tintas para periódico, antiespumante, etc.

TABLA 5. DATOS COMERCIALES DE 2 FABRICANTES DE DIOXIDO DE SILICIO .

2.2.- JUSTIFICACION:

La aglomeración de polvos es uno de los principales problemas que nos pueden traer como consecuencia la disminución de la calidad de alimentos de este tipo. Sus causas pueden ser: presión de estiba; liberación de líquidos (grasas o reacciones químicas que liberan agua, por ejemplo) y condensación de humedad en la superficie de las partículas. Esta última causa es la que se presenta más frecuentemente. Al condensarse humedad en las partículas de un polvo, se forman los que se conocen como puentes líquidos, los cuales acentúan la cohesividad de las partículas del polvo al disolver a los compuestos que se encuentran en la superficie de las partículas y entonces esos compuestos disueltos (azúcar, sal, etc.) se difunden en toda la película líquida, por lo cual, si posteriormente ocurre una pérdida de humedad del puente líquido, a causa de un incremento en la temperatura o por disminución de la humedad relativa ambiental, los compuestos disueltos recrystalizarán y darán lugar a la formación de puentes sólidos, lo cual trae como consecuencia que el aglomerado formado sea muy duro y difícil de romper. En la figura 7 se esquematiza la formación de estos puentes líquidos.



FIGURA 7. FORMACION DE PUENTES LIQUIDOS Y POSTERIOR SOLIDIFICACION A CAUSA DE LA PERDIDA DE HUMEDAD.

La aglomeración de los alimentos en polvo o de los ingredientes de este tipo, trae consigo otras consecuencias, como son las siguientes:

-Dificultad de manejo y mezclado con otros polvos, como en el caso de mezclas secas.

-Errores en el llenado de envases con este tipo de alimentos por la modificación de su valor de densidad aparente a causa del incremento de cohesividad de sus partículas.

-Desarrollo inoportuno de color: Entre las sustancias colorantes empleadas en la industria alimentaria, existen algunos compuestos que manifiestan su poder colorante al entrar en contacto con el agua. Para el caso de alimentos en polvo, estos compuestos se emplean en la elaboración de bebidas refrescantes en polvo y gelatinas, por ejemplo. Precisamente debido a la manera como imparten color estos compuestos es muy importante que el polvo del cual forman parte se mantenga seco, hasta el momento de su empleo, ya que, en caso contrario, si se condensa humedad en el producto y entra en contacto con el colorante se desarrollará el color dentro del empaque y cuando éste sea abierto para emplear el producto, su aspecto será muy desagradable para el consumidor.

A causa del ritmo de vida, cada vez más acelerado, en las grandes ciudades, el número de alimentos instantáneos, algunos de ellos en polvo, tiende a incrementarse en el mercado; por tal motivo la demanda de agentes anti-aglomerantes también aumenta. Al mismo tiempo, debido al relativamente alto costo de los anti-aglomerantes empleados actualmente (particularmente los importados) y a causa de sus posibles efectos negativos sobre las propiedades organolépticas de estos alimentos (?), cada vez es más necesario encontrar materiales alternos que puedan ser empleados como anti-aglomerantes y que preferentemente sean producidos en México, para asegurar que sean fácilmente asequibles y su costo no se incremente demasiado por causa de la devaluación de nuestra moneda y para eliminar los posibles efectos nocivos de estos aditivos sobre las propiedades organolépticas de los alimentos en polvo.

3.- METODOLOGIA.

3.1. PROCEDIMIENTO:

3.1.1. Elección de los materiales a evaluar:

Con base a una amplia investigación bibliográfica (15, 17, 22, 27, 32, 42) se eligieron algunos materiales para ser evaluados como anti-aglomerantes. Para la selección de los materiales se consideraron principalmente 3 aspectos fundamentales: toxicidad, costo e higroscopicidad.

Toxicidad:

Como es de esperarse, para que un material pueda ser empleado como aditivo alimentario no debe presentar efectos tóxicos a la concentración de empleo.

Costo:

Puesto que se trata de encontrar materiales que sustituyan a los anti-aglomerantes comerciales, el costo de los nuevos materiales debe ser inferior o a lo sumo igual al de los actuales a las respectivas concentraciones de empleo.

Higroscopicidad:

Este aspecto se manejó desde dos puntos de vista para la elección. Por una parte se eligieron materiales altamente higroscópicos como lo es el CaCl_2 , ya que se consideró la teoría manejada por Moss(26), que dice que un agente anti-aglomerante debe poseer gran afinidad por el agua; por lo cual estos materiales tomarían la humedad ambiental antes que la tomara el polvo base, evitando de esta forma la aglomeración. Por otra parte, se escogieron materiales poco higroscópicos como el CaSO_4 y MgCO_3 , esperando que esta clase de materiales, en caso de cubrir totalmente a cada una de las partículas del polvo base, al tener menos afinidad por el agua constituirían una barrera semirepelente y de esta forma evitarían el contacto de la humedad con el polvo protegido.

Asimismo fueron empleados 3 anti-aglomerantes comerciales; éstos fueron: fosfato tricálcico, celulosa microcristalina y dióxido de silicio hidrófilo del tipo D (véase la tabla 2). De acuerdo con

la información recopilada, estos tres materiales presentan alta efectividad como anti-aglomerantes (4, 26, 44). Estos anti-aglomerantes constituyeron puntos de referencia para obtener una idea más clara de la efectividad de los otros materiales propuestos.

El polvo base al cual fueron añadidos cada uno de los materiales fué una mezcla para preparar una bebida tipo refresco; este polvo fué elegido debido a que sus ingredientes lo hacen altamente susceptible de aglomerarse por causa de la humedad.

Cabe mencionar que, paralelamente al polvo tratado con los diversos materiales, también fué evaluado el comportamiento del polvo base sin proteger, como testigo con el cual se comparó también el comportamiento del polvo tratado con los materiales elegidos; obteniéndose de esta manera otro punto de referencia para la evaluación.

En la tabla 6 aparecen los materiales evaluados con la concentración respectiva a la cual fueron añadidos al polvo base.

<u>MATERIAL</u>	<u>CONCENTRACION (%)</u>
CaCl ₂ anhidro	1
CaSO ₄	1
Biopolimero 204	5
MgCO ₃	1
Maltodextrina de 5 D.E.....	5
Maltodextrina de 10 D.E.....	5
Fosfato tricálcico	1
Acetimero FT	5
Celulosa microcristalina	1
SiO ₂ hidrófilo	1

TABLA 6. CONCENTRACIONES DE EMPLEO DE LOS MATERIALES EVALUADOS.

4.1.3. Primera fase:

Cada una de las mezclas fué almacenada primeramente a 4 diferentes valores de humedad relativa; esto se realizó para observar el efecto de la humedad relativa en la velocidad de aglomeración del polvo y para determinar los materiales que mejor actuaran como anti-aglomerantes. El almacenamiento fue realizado colocando cada mezcla en 2 vasos de precipitados de 100 ml y después fueron introducidos en desecadores que contenían una solución salina, con la cual se obtuvo un determinado valor de humedad relativa. En la tabla 7 se presentan las sales empleadas para la obtención de la humedad relativa de almacenamiento respectiva.

<u>SAL</u>	<u>H.R. (%)</u>
Acetato de potasio.....	23
Nitrato de magnesio.....	52
Cloruro de sodio.....	75
Cloruro de potasio.....	85

TABLA 7. HUMEDAD RELATIVA DE LAS SOLUCIONES SALINAS SATURADAS EMPLEADAS.

Cabe mencionar que la parte experimental fué dividida en 2 fases, a causa de las limitaciones de material y al prolongado tiempo de almacenamiento.

Cada valor de humedad relativa fué verificado con la ayuda de un higrómetro de cabello previamente calibrado.

Para evaluar la efectividad de los materiales, fueron realizadas las siguientes determinaciones en la primera fase:

% de aglomeración:

Esta fué la determinación más importante, ya que lo que nos interesó principalmente fué ver la efectividad de los materiales como anti-aglomerantes.

Esta determinación consistió en hacer pasar una cantidad de muestra a través de una malla, cuya abertura permitiera el libre paso de las partículas de polvo en las condiciones iniciales. En este caso, se seleccionó un tamiz con malla del número 18.

Después de colocar una cantidad determinada de muestra en el tamiz, éste fué colocado en un vibrador y agitado durante 60 s, para separar el material no aglomerado. Terminado lo anterior, se determinó el peso retenido en la malla y se dividió entre el peso total de muestra tamizada obteniéndose de esta manera el % de muestra aglomerada.

Densidad aparente:

Por medio de esta determinación se observa indirectamente los cambios ocurridos en el seno de un polvo a medida que éste se aglomera; ya que conforme esto ocurre una cantidad cada vez menor de el polvo ocupa un volumen determinado. Esta determinación se efectuó con el dispositivo que aparece en la figura 8. El procedimiento seguido fué el siguiente:

Con el orificio de salida cerrado, se llenó el embudo de acero inoxidable con el polvo; después de esto se abrió el orificio inferior permitiendo que el polvo caiga en un recipiente de peso y volumen conocidos. El exceso de polvo fué eliminado rasando la superficie con una espátula. Hecho lo anterior se determinó la cantidad de polvo contenida en el recipiente y se relaciona con el volumen de éste, obteniéndose de esta manera la densidad aparente.

Cabe mencionar que cada una de las determinaciones efectuadas fué realizada exactamente de la misma manera, para asegurar la reproducibilidad de los resultados y la confiabilidad de los mismos (5,30,34).

Estrictamente hablando, no es adecuado estimar o predecir la fluidez de polvos en base solamente a su densidad aparente; sin embargo, puede afirmarse que uno de los indicios de que un polvo desarrolla cohesividad es una reducción significativa en su densidad aparente.

% de humedad:

A cada una de las mezclas se le determinó el % de humedad con la finalidad de seguir la adsorción de ésta por parte de las mezclas y para averiguar si existía una relación estrecha entre la cantidad de agua adsorbida por el polvo y la aglomeración del mismo.

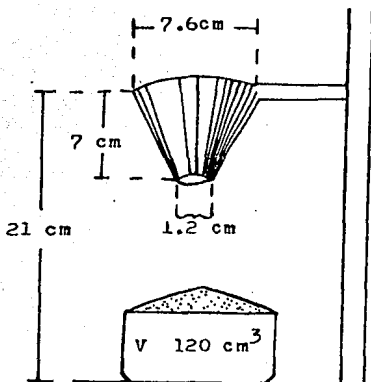


FIGURA 8. DISPOSITIVO EMPLEADO PARA LA DETERMINACION DE DENSIDAD APARENTE.

La determinación se realizó por medio de un secado en estufa a 85°C durante 4 hrs. Estas condiciones son necesarias a causa de las características del polvo base, el cual podría descomponerse si la temperatura de secado fuera mayor de 90°C y esto traería como consecuencia resultados erróneos por el desprendimiento de algunos componentes volátiles (30).

La periodicidad con la cual fueron realizadas las anteriores determinaciones en esta primera fase, fue la siguiente:

Muestras almacenadas a 23% H.R.: 1 vez a la semana.

Muestras almacenadas a 52% H.R.: 2 veces a la semana.

Muestras almacenadas a 75% H.R.: 2 veces a la semana.

Muestras almacenadas a 85% H.R.: 2 veces a la semana.

Para realizar las determinaciones de % de aglomeración y densidad aparente se tomó la cantidad total de cada mezcla almacenada (170 g), ya que estas determinaciones no son destructivas, y entonces se dió a cada mezcla el tratamiento descrito en las secciones correspondientes. Después de realizar estas dos determinaciones, se tomaron 1-2 g de cada mezcla para la determinación de % de hu-

medad y finalmente la cantidad restante de cada mezcla fué introducida a los desecadores para continuar con el almacenamiento. Este ciclo se repitió cada vez que correspondió efectuar determinaciones, de acuerdo con la periodicidad establecida anteriormente.

3.1.3. Segunda fase:

Los materiales con los que se obtuvieron mejores resultados en lo referente a % de aglomeración, fueron de nueva cuenta almacenados, aunque ahora sólo a 75% de humedad relativa. Este segundo almacenamiento se realizó para determinar principalmente la velocidad de flujo de estas mezclas. El objetivo de realizar esta determinación fué: averiguar el efecto de los materiales añadidos al polvo base, sobre la velocidad de flujo de éste. Esto fué con la finalidad de determinar si el mejor anti-aglomerante era también el mejor auxiliar de flujo, ya que actualmente esta es la idea generalizada.

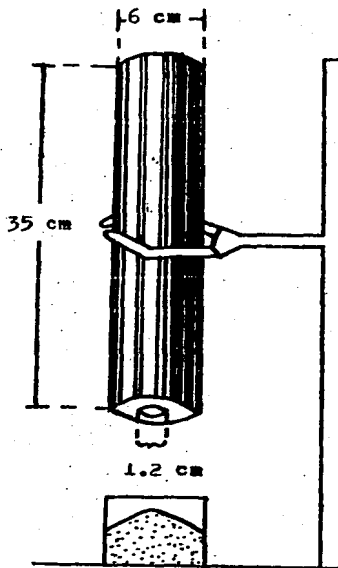


FIGURA 9. DISPOSITIVO EMPLEADO PARA DETERMINAR VEL. DE FLUJO.

En la primera fase no fue posible hacer esta determinación a causa de la cantidad de muestra requerida para realizarla, la cual en la primera fase hubiera requerido una cantidad muy grande de material para el almacenamiento de todas las mezclas.

La velocidad de flujo de las mezclas se determinó con el dispositivo mostrado en la figura 9, de la siguiente forma:

Se colocó dentro del tubo la cantidad de muestra necesaria para que la altura del polvo dentro del tubo fuera de 30 cm; el polvo se vertió dentro del tubo haciéndolo pasar a través de un embudo y evitando la vibración en todo momento para evitar que el polvo se asentara, lo cual traería como consecuencia que el mismo no fluyera.

Después de haber colocado el polvo dentro del tubo, se destapó el orificio inferior y en ese momento se empezó a contar el tiempo con un cronómetro. El orificio se mantuvo abierto durante 5 s; después del cual se cerró el orificio y la cantidad de polvo recibida en un recipiente de peso conocido fué determinada y relacionada con el tiempo de flujo del polvo en g/s.

Las características y dimensiones del dispositivo de medición y la altura que el polvo debe tener dentro del tubo para efectuar la determinación, son indispensables para que la velocidad de flujo sólo dependa de la interacción entre las partículas del polvo y no haya influencia de la fricción con las paredes del recipiente y la velocidad no cambie por influencia de la altura del polvo dentro del tubo (8).

Solamente se realizó el almacenamiento a 75% H.R. debido a que este es el valor máximo que este parámetro alcanza, durante el año, en las ciudades más polbladas del país: D.F., Guadalajara, Monterrey, León, Aguascalientes y Puebla; las cuales son, en consecuencia, las que demandan los mayores volúmenes de alimentos.

En el anexo se encuentra una tabla con los valores de humedad relativa, a lo largo del año, en diversas poblaciones de toda la República Mexicana y también se presenta una gráfica de los valores de H.R. de las 6 ciudades mencionadas anteriormente, durante el año (29).

4.- RESULTADOS .

A continuación se presentan los resultados obtenidos. En primer lugar aparecen los resultados de la primera fase, en el siguiente orden:

% de aglomeración: Tabla 9 y figuras 10 - 13b.

Densidad aparente: Tabla 10 y figuras 14a - 17b.

% de humedad : Tabla 11 y figuras 18a - 21b.

La figura 22 corresponde a las gráficas de % de aglomeración para las mezclas con CaCl_2 , a los 4 valores de humedad relativa.

Finalmente se presentan los resultados obtenidos en la segunda fase experimental, de la siguiente manera:

Resultados globales: Tabla 12.

Gráficas de velocidad de flujo: Figuras 23a y 23b.

Gráficas de % de aglomeración : Figuras 24a y 24b.

Gráficas de densidad aparente : Figuras 25a y 25b.

Gráficas de % de humedad : Figuras 26a y 26b.

Cabe aclarar que las determinaciones de % de humedad, realizadas en la segunda fase, fueron hechas por medio de titulaciones amperométricas con el reactivo de Karl-Fisher, ya que por medio de la estufa llegó un momento en el cual las determinaciones resultaron erróneas, a causa de la consistencia chiclosa del aglomerado formado.

Para una mayor facilidad de localización de cada una de las figuras que aparecen en este trabajo, en la página 5 se encuentra el índice de figuras.

En la tabla 8 se presentan las claves de identificación de cada mezcla en las gráficas de resultados.

TABLA 8.

<u>MEZCLA</u>	<u>CLAVE</u>
Polvo base con CaCl_2	Cl
Polvo base con CaSO_4	SO_4
Polvo base con Biopólímero 804	S
Polvo base con MgCO_3	Mg
Polvo base con maltodextrina de 5 D.E.....	MD5
Polvo base con maltodextrina de 10 D.E.....	MDW

Polvo base con fosfato tricálcico BP
Polvo base con Acetímero FT NQN
Polvo base con celulosa cristalina FMC
Polvo base con SiO₂ hidrófilo I
Polvo base sin proteger (testigo) TC

TABLA 9. Resultados de % de aglomeración a 23, 52, 75 y 85% H.R.

Clave	Dias ZH.R.	Dias										
		0	1	5	12	15	19	22	26	29	30	35
TC	23	0.1	0.11	0.09	0.1	0.1	0.12	0.1	0.11	0.13	0.13	0.12
	52	0.1	0.17	0.23	0.36	0.65	1.1	1.5	1.8	2.01	2.5	2.7
	75	0.1	0.16	53.94	99.15	100						
	85	0.1	4.9	74.01	100							
I	23	0.09	0.08	0.09	0.1	0.1	0.09	0.1	0.1	0.11	0.1	0.1
	52	0.09	0.09	0.08	0.1	0.13	0.17	0.28	0.35	0.56	0.63	0.69
	75	0.09	0.08	8.79	57.45	84.13	96.81	100				
	85	0.09	0.09	27.91	50.1	94.13	96.42	100				
S	23	0.1	0.11	0.1	0.1	0.09	0.11	0.11	0.12	0.1	0.11	0.11
	52	0.1	0.1	0.1	0.1	0.11	0.13	0.18	0.23	0.3	0.39	0.48
	75	0.1	0.12	3.25	24	36.01	64.96	78.03	88.32	96.5	100	
	85	0.1	0.08	23.56	56.02	76.13	92.4	100				
NGN	23	0.08	0.08	0.09	0.07	0.1	0.1	0.09	0.1	0.1	0.1	0.11
	52	0.08	0.08	0.11	0.11	0.13	0.15	0.19	0.27	0.38	0.5	0.62
	75	0.08	0.16	7.41	33.47	47.14	80.13	80.42	93.9	100		
	85	0.08	0.27	36.52	77.91	87.5	96.43	100				
EP	23	0.11	0.1	0.11	0.1	0.09	0.1	0.1	0.1	0.12	0.11	0.11
	52	0.11	0.12	0.15	0.19	0.25	0.32	0.36	0.45	0.58	0.7	0.79
	75	0.11	0.17	27.4	83.06	94.38	100					
	85	0.11	3.2	49.03	86.49	95.14	100					
CI	23	0.13	0.13	0.14	0.4	0.62	0.98	1.97	1.97	1.98	1.98	1.93
	52	0.13	1.6	25.6	75.7	90.5	96.7	98.6	100			
	75	0.13	0.17	59.77	100							
	85	0.13	12.8	69.75	100							
MDW	23	0.11	0.11	0.12	0.1	0.12	0.12	0.11	0.11	0.12	0.11	0.11
	52	0.11	0.13	0.16	0.19	0.26	0.35	0.39	0.45	0.57	0.71	0.8
	75	0.11	0.11	48.42	99.21	100						
	85	0.11	2.3	60.95	100							
MDS	23	0.1	0.09	0.09	0.08	0.1	0.1	0.1	0.11	0.1	0.1	0.09
	52	0.1	0.12	0.16	0.2	0.25	0.33	0.38	0.46	0.55	0.7	0.81
	75	0.1	0.13	45.57	97.04	100						
	85	0.1	0.61	56.8	100							
S04	23	0.17	0.15	0.13	0.14	0.13	0.13	0.13	0.15	0.15	0.13	0.14
	52	0.17	0.16	0.17	0.17	1.6	1.65	1.9	2.25			
	75	0.17	0.16	44.82	98.43	100						
	85	0.17	3.47	67.43	100							
H ₉	23	0.15	0.14	0.11	0.12	0.12	0.13	0.12	0.1	0.11	0.12	0.11
	52	0.15	0.17	0.18	0.2	0.35	0.52	0.66	0.77	0.85	0.96	1.01
	75	0.15	0.14	49.52	91.65	100						
	85	0.15	9.61	63.6	100							
FMC	23	0.1	0.1	0.09	0.11	0.08	0.09	0.09	0.1	0.1	0.1	0.1
	52	0.1	0.11	0.11	0.13	0.17	0.21	0.29	0.38	0.49	0.63	0.72
	75	0.1	0.12	40.36	76.79	100						
	85	0.1	3.2	55.73	100							

FIGURA 10

% de Aglomeración vs tiempo a 236

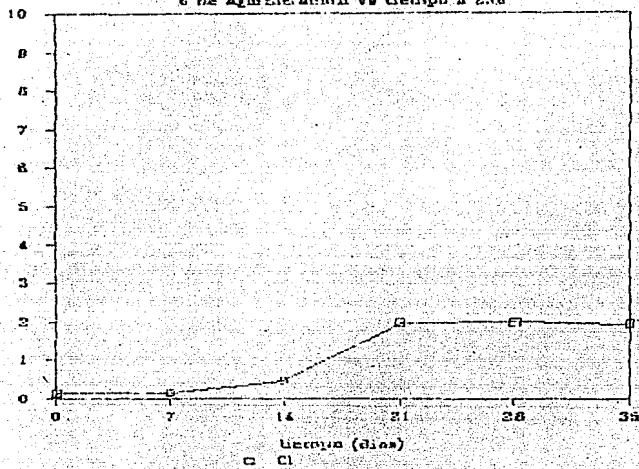
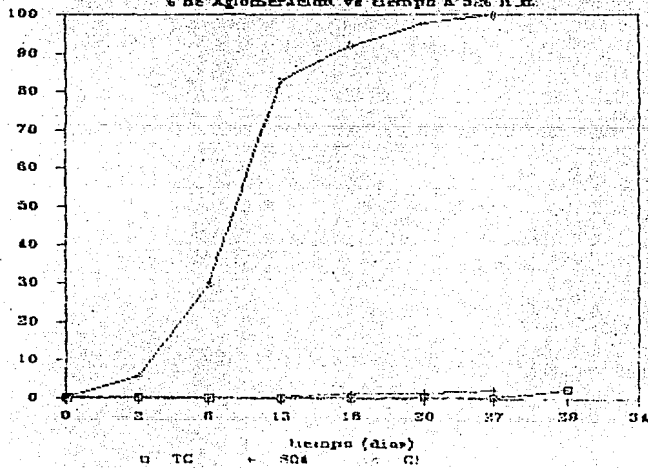


Figura 11

% de Aglomeración vs tiempo a 326 H.E.



% de Aglomeración

% de Aglomeración

FIGURA 12a

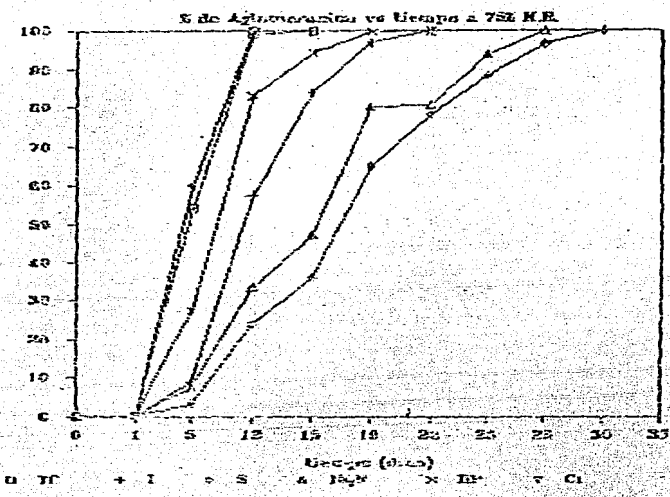
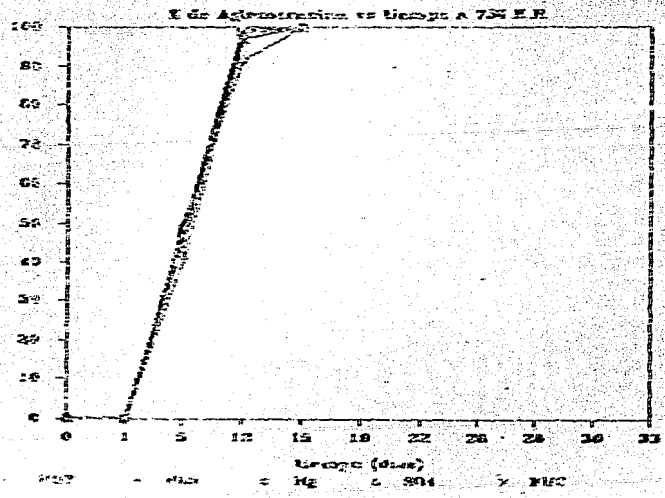


FIGURA 12b



% de Aquecimento

% de Aquecimento

Figura 13a

% de Aglomeración vs tiempo a 85 % H.E.

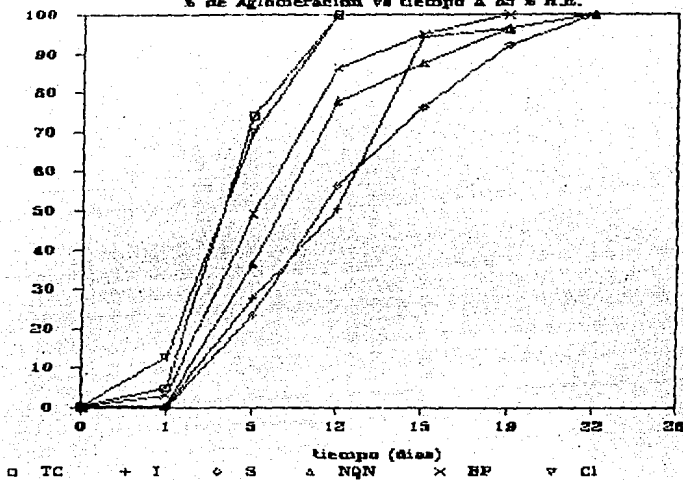


FIGURA 13b

% de Aglomeración vs tiempo a 85% H.E.

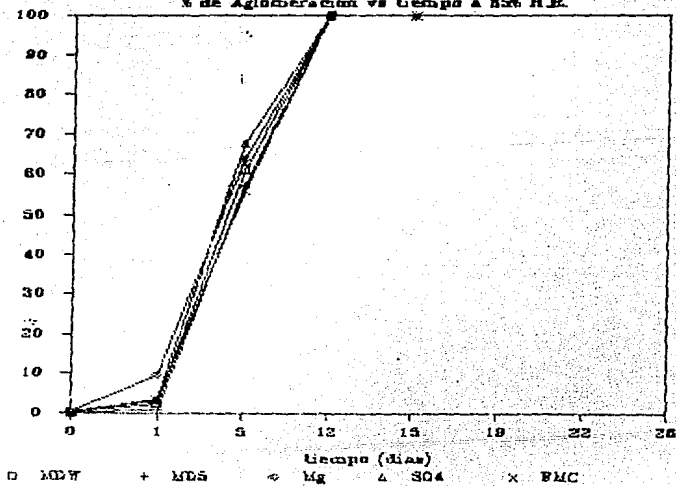


FIGURA 14a

Densidad aparente vs. tiempo a 23°C H.R.

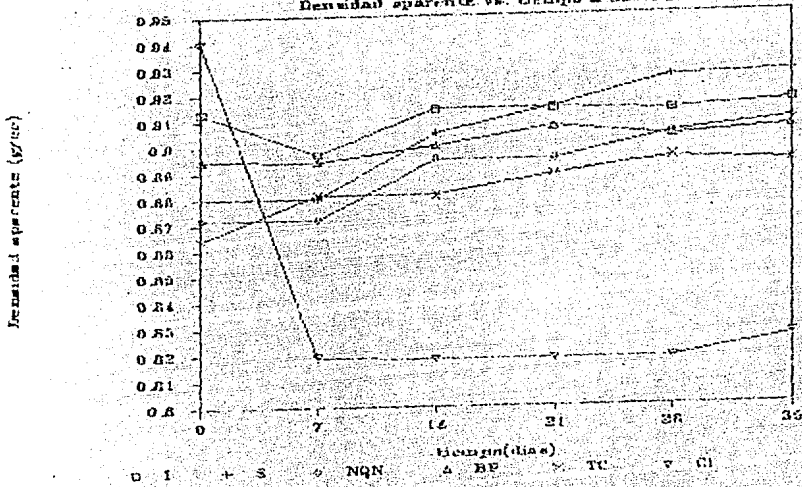


FIGURA 14b

Densidad aparente vs tiempo a 23°C H.R.

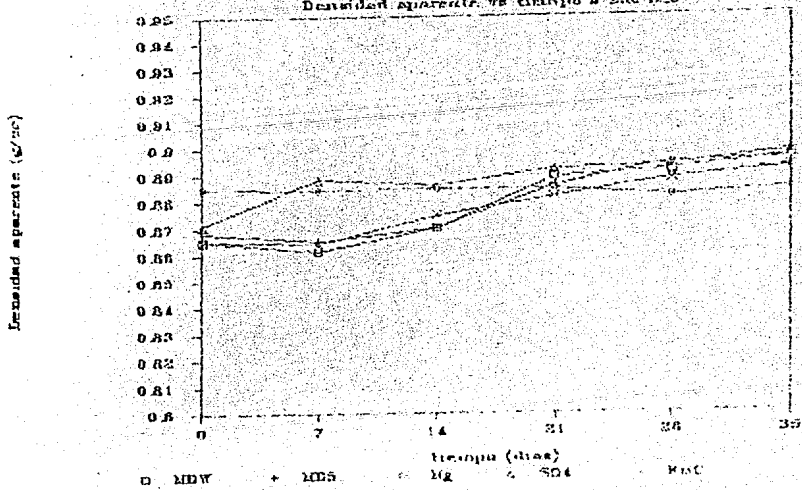


FIGURA 15a

Densidad aparente vs tiempo a 52% H.R.

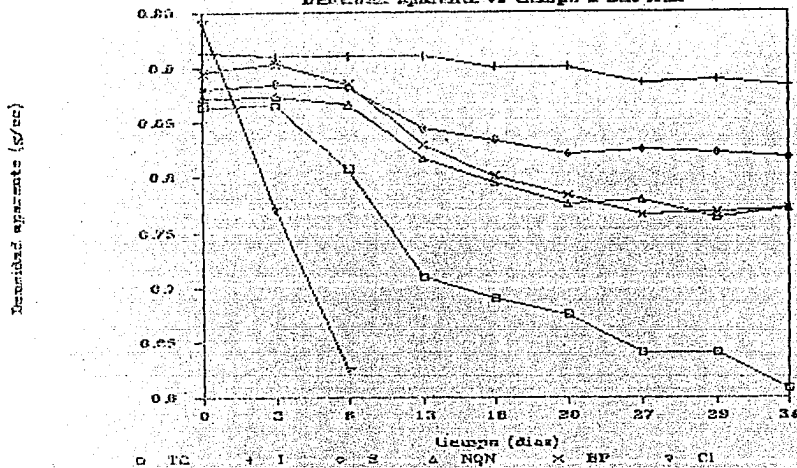


FIGURA 15b

Densidad aparente vs tiempo a 52% H.R.

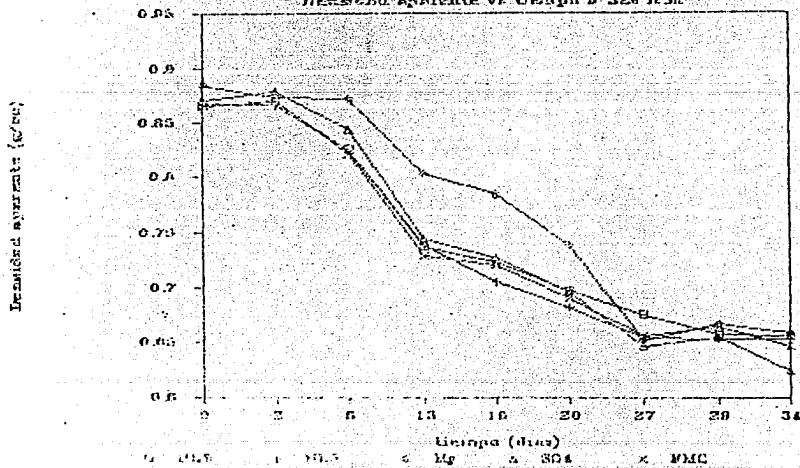


FIGURA 16a

Densidad aparente vs tiempo a 75% H.R.

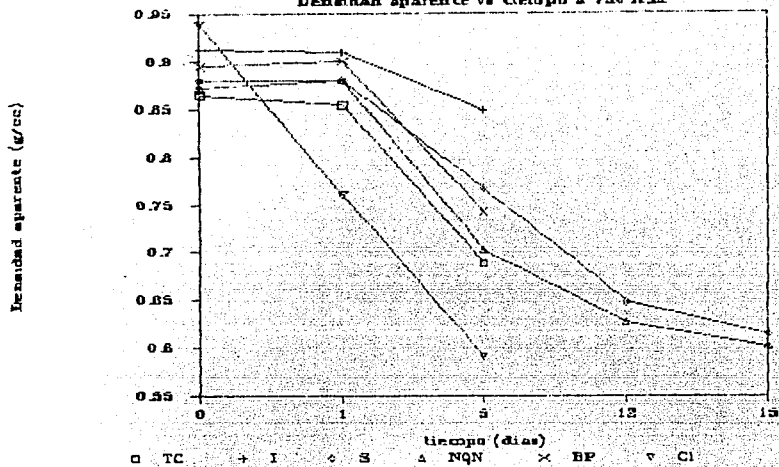


FIGURA 16b

Densidad aparente vs tiempo a 75% H.R.

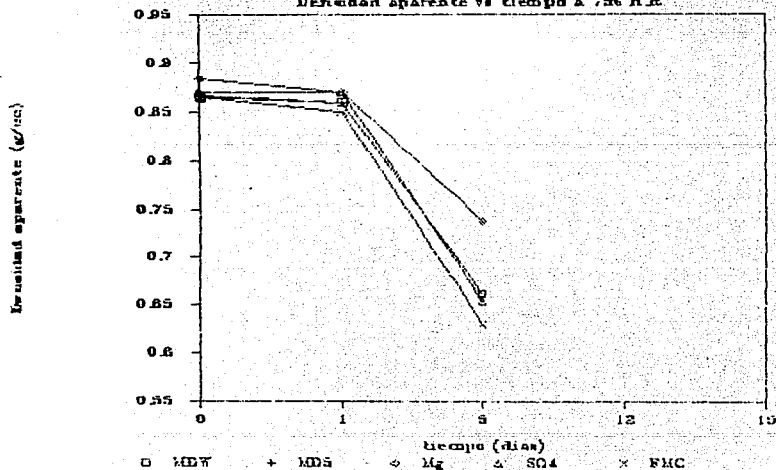


FIGURA 17a

Densidad aparente vs tiempo a 85°C H.M.

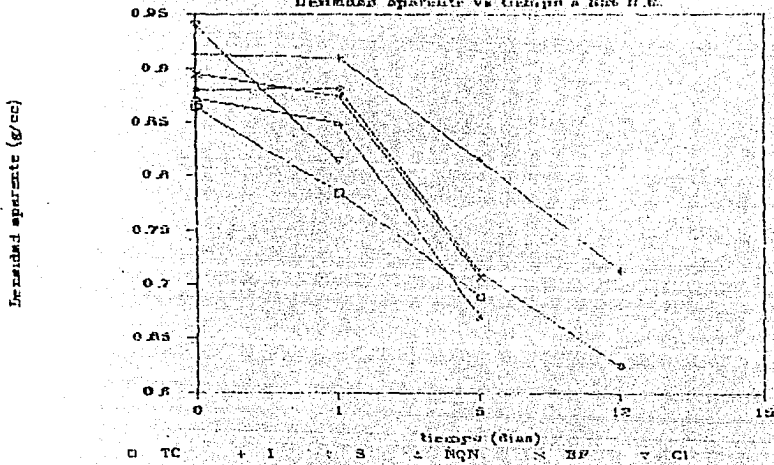


FIGURA 17b

Densidad aparente vs tiempo a 85°C H.M.

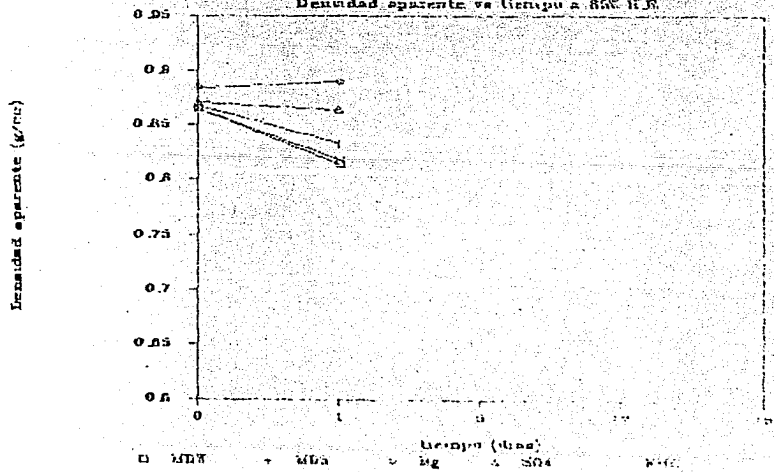


TABLA 11. Resultados de % de humedad a 23, 52 75 y 85% H.R.

	Días	0	1	5	12	15	19	22	26	28	30	35
Clave TC	% H.R.											
	23	0.39	0.39	0.37	0.36	0.36	0.37	0.39	0.38	0.39	0.37	0.36
	52	0.39	0.45	0.5	0.7	0.76	0.9	0.93	0.99	1.01	1.09	1.15
	75	0.39	0.8	0.96	2.17	2.88	2.72	2.5	3.95	3.97	3.32	3.63
	85	0.39	1.8	2.0	7.59	2.79	4.29	2.71	3.24	3.46	3.93	3.67
I	23	0.87	0.45	0.45	0.43	0.4	0.4	0.39	0.36	0.36	0.4	0.55
	52	0.87	0.49	0.7	0.85	0.87	1.1	1.1	1.15	1.19	1.12	1.16
	75	0.87	0.69	0.96	1.48	1.98	4.58	3.33	2.38	2.84	2.92	2.85
	85	0.87	1.2	1.5	1.5	2.26	2.89	2.63	2.66	2.92	2.86	2.75
	S	23	1.03	0.9	0.75	0.55	0.54	0.54	0.54	0.53	0.54	0.56
52		1.03	0.82	0.9	0.96	0.98	1.15	1.18	1.19	1.1	1.08	1.15
75		1.03	1.11	1.49	1.8	2.0	2.38	2.89	3.49	3.88	3.45	3.5
85		1.03	1.34	1.74	2.49	2.18	4.25	2.72	3.21	3.98	4.0	3.88
MCH		23	0.91	0.7	0.55	0.53	0.53	0.54	0.56	0.56	0.58	0.59
	52	0.91	0.7	0.85	0.9	1.01	1.14	1.17	1.26	1.22	1.18	1.14
	75	0.91	1.11	1.28	1.76	1.88	2.87	2.51	3.35	3.66	3.84	3.78
	85	0.91	1.3	1.6	1.71	2.05	4.12	3.47	5.78	2.72	5.96	6.15
	EP	23	0.87	0.5	0.43	0.38	0.34	0.34	0.37	0.39	0.4	0.4
52		0.87	0.4	0.6	0.91	0.87	1.12	1.11	1.11	1.09	1.09	1.13
75		0.87	0.7	1.1	1.57	1.95	3.4	3.5	3.39	3.34	3.57	3.46
85		0.87	0.72	1.29	2.07	2.49	4.3	2.74	3.14	4.61	4.52	4.38
CI		23	0.95	0.96	0.98	0.98	0.9	0.93	1.01	0.98	0.93	0.89
	52	0.96	1.2	1.9	2.5	3.35	3.85	3.99	4.4	5.15	5.05	4.6
	75	0.96	1.41	2.29	6.82	6.1	4.85	3.64	6.3	6.39	6.4	6.28
	85	0.96	1.95	4.23	8.44	7.3	9.69	5.14	6.63	6.8	6.44	6.94
	MCH	23	0.86	0.7	0.59	0.54	0.54	0.5	0.53	0.58	0.54	0.54
52		0.86	0.8	0.81	0.89	1.12	1.15	1.17	1.2	1.3	1.33	1.15
75		0.86	0.97	1.28	3.73	3.2	3.26	2.4	2.21	2.39	2.48	2.65
85		0.86	1.18	1.83	3.92	3.61	3.46	1.91	2.57	2.55	2.88	2.96
MCH		23	0.52	0.52	0.56	0.6	0.6	0.63	0.65	0.71	0.71	0.76
	52	0.52	0.64	0.87	0.94	1.15	1.31	1.31	1.4	1.4	1.3	1.35
	75	0.52	1.04	1.25	2.01	3.59	3.48	3.38	2.68	2.7	2.55	2.51
	85	0.52	1.25	1.58	6.59	2.79	4.48	2.55	3.53	2.92	2.86	3.25
	M ₂	23	0.42	0.4	0.45	0.25	0.35	0.39	0.37	0.37	0.36	0.34
52		0.42	0.59	0.61	1.14	1.19	1.47	1.47	1.49	1.47	1.44	1.46
75		0.42	0.56	1.31	2.15	4.33	4.26	4.41	4.11	4.28	4.5	4.7
85		0.42	1.07	1.81	3.47	3.19	5.32	4.1	4.32	4.59	4.57	4.08
M ₂		23	0.78	0.4	0.29	0.3	0.25	0.31	0.33	0.29	0.32	0.33
	52	0.78	0.43	0.89	0.91	1.12	1.19	1.2	1.19	1.15	1.17	1.2
	75	0.78	0.89	1.1	3.25	3.0	2.57	2.34	3.77	3.28	3.2	2.89
	85	0.78	1.02	1.73	5.71	2.52	3.15	2.1	3.4	2.45	3.31	3.48
	M ₂	23	0.52	0.46	0.43	0.4	0.4	0.4	0.39	0.36	0.38	0.36
52		0.52	0.45	0.52	0.81	0.7	0.81	0.85	0.89	1.06	1.02	1.15
75		0.52	0.7	0.95	2.1	4.98	2.51	2.82	2.56	3.24	2.86	2.95
85		0.52	1.02	1.75	3.3	5.61	3.26	2.53	2.82	2.77	3.26	3.61

FIGURA 18a

% de Humedad vs tiempo a 23°C H.E.

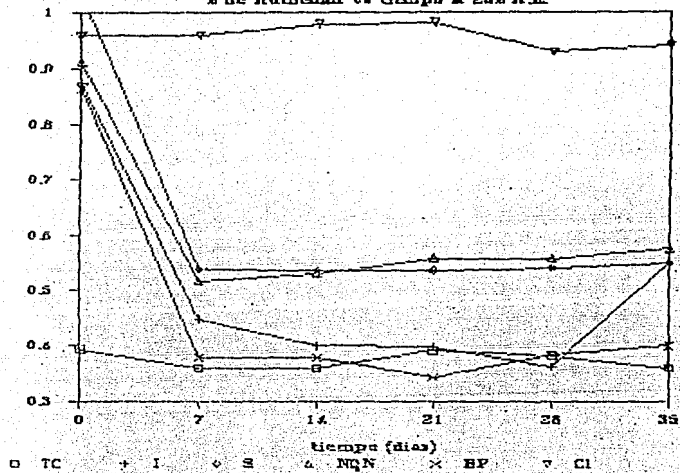
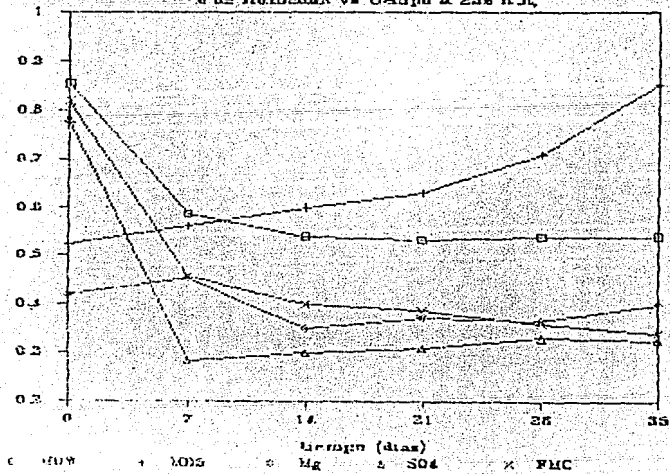


FIGURA 18b

% de Humedad vs tiempo a 23°C H.E.



% de Humedad

% de Humedad

FIGURA 19a

% de Humedad vs Tiempo a 53% H.R.

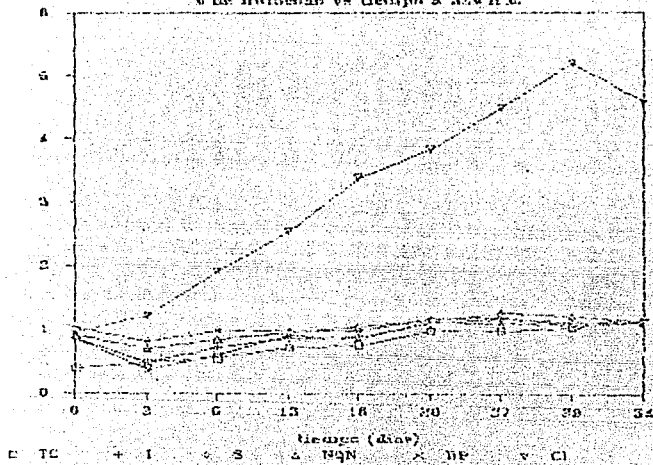


FIGURA 19b

% de Humedad vs Tiempo a 53% H.R.

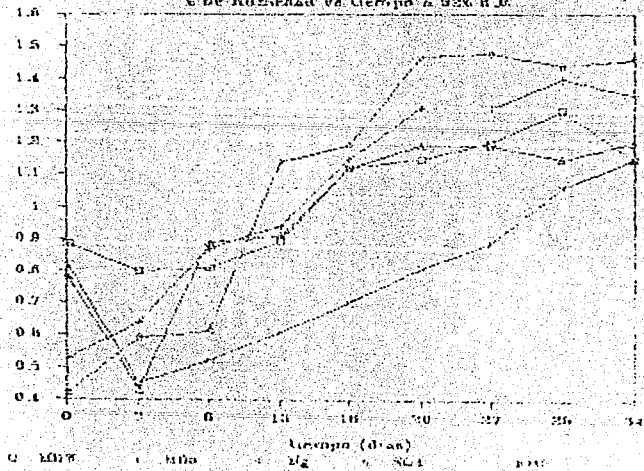


FIGURA 20a

% de Humedad vs tiempo a 75% H.E.

% de Humedad

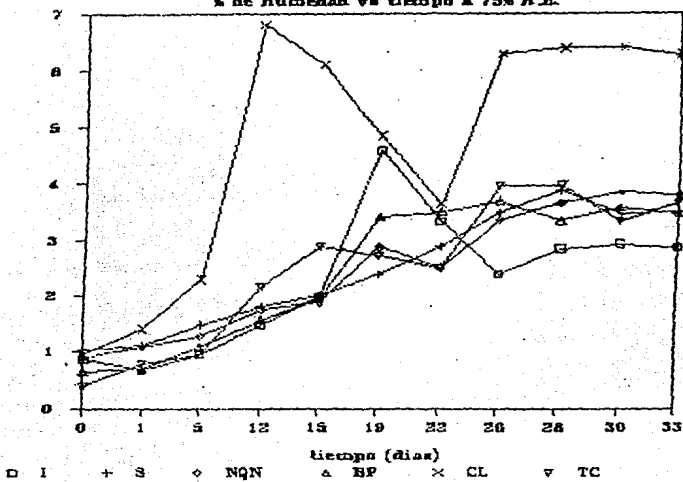


FIGURA 20b

% de Humedad vs tiempo a 75% H.E.

% de Humedad

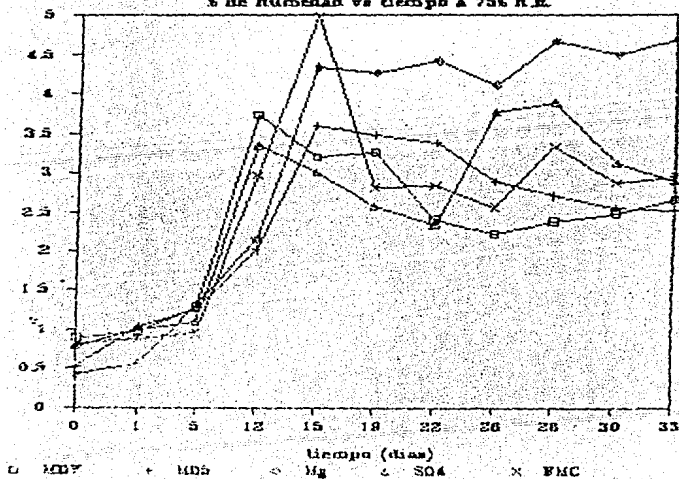


FIGURA 21a

% de Humedad vs tiempo a 85% H.R.

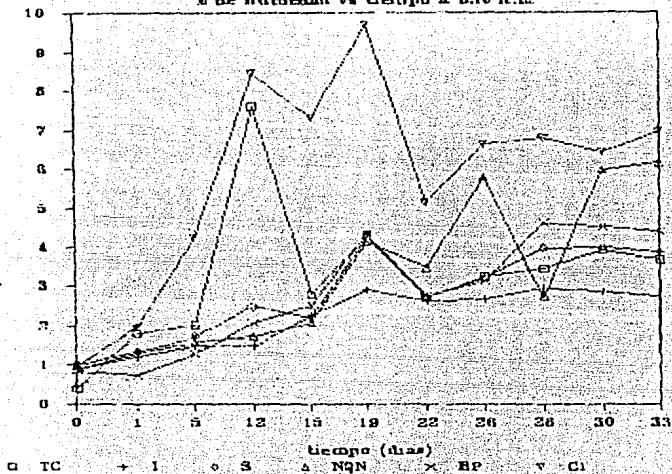


FIGURA 21b

% de Humedad vs tiempo a 85% H.R.

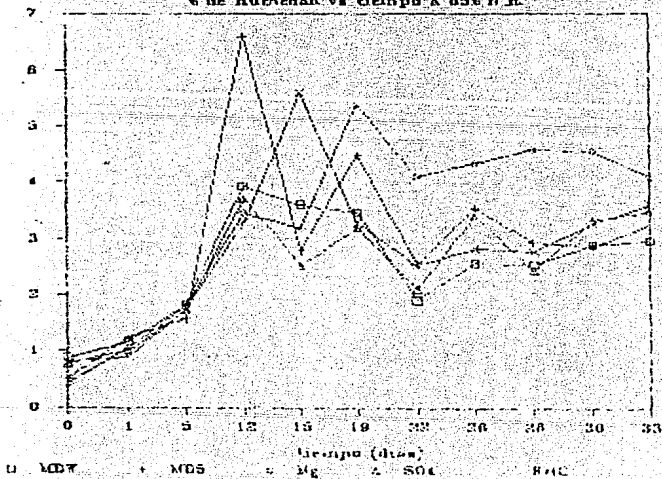


FIGURA 22

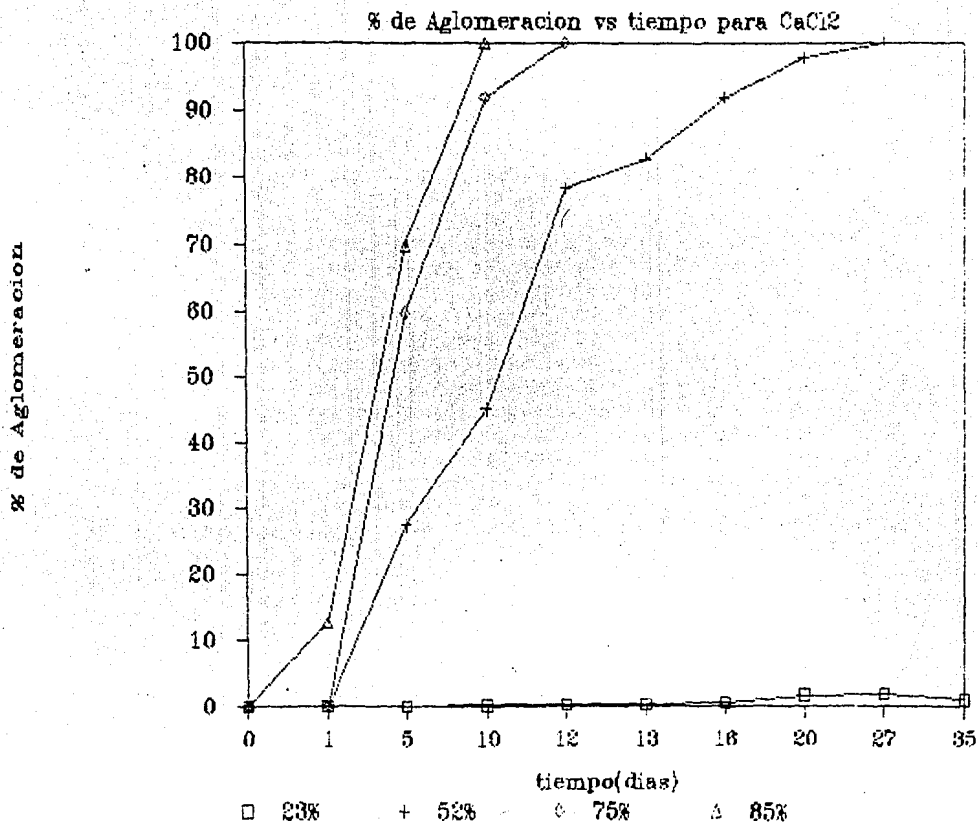


TABLA 12. Resultados globales de la segunda fase (75% H.R.).

		Velocidad de flujo (g/s)							
Dias Clave		0	1	4	5	6	7	8	
TC		16.8	17.46						
I		14.66	13.76	14.74	17.87	17.74	15.87	12.51	
S		11.61	11.63	15.95	15.46	15.15	15.33	13.87	
NGN		12.26	12.02	16.17	16.01	15.78	15.29	15.15	
BP		17.52	16.64	17.07	9.48				
EV		12.15	11.89	15.94	16.51	15.84	15.11	14.6	
A		13.54	13.25	16.05	15.88	15.39	15.19	14.76	
CS		17.53	18.97	16.58	13.89	11.79			

		% de Aglomeracion										
Dias Clave		0	1	4	6	8	13	15	18	20	22	25
TC		0.09	0.09	6.64	18.88	67.41	97.8	100				
I		0.04	0.04	0.04	0.3	6.87	69.28	92.3	100			
S		0.05	0.06	0.06	0.04	0.04	2.76	17.7	62.73	84.01	91.8	100
NGN		0.04	0.07	0.09	0.06	0.06	10.15	37.7	84.23	96.08	100	
BP		0.09	0.09	3.74	6.51	25.38	85.29	100				
EV		0.08	0.08	0.09	0.07	0.08	2.38	15.3	66.17	86.6	97.35	100
A		0.05	0.06	0.12	0.06	0.09	13.74	39.6	85.7	92.5	98.8	100
CS		0.09	0.09	2.24	5.92	24.8	85.05	95.3	100			

		Densidad aparente (g/cc)									
Dias Clave		0	1	4	5	6	7	8	11	14	
TC		0.87	0.849	0.649	0.621	0.539					
I		0.89	0.894	0.871	0.840	0.814	0.732	0.653			
S		0.885	0.874	0.791	0.753	0.725	0.705	0.688	0.643	0.605	
NGN		0.874	0.878	0.786	0.739	0.720	0.702	0.685	0.632	0.598	
BP		0.890	0.895	0.750	0.694	0.643	0.600				
EV		0.934	0.927	0.832	0.780	0.738	0.709	0.695	0.645	0.602	
A		0.920	0.907	0.780	0.743	0.719	0.697	0.680	0.626	0.595	
CS		0.896	0.890	0.711	0.677	0.639	0.587				

		% de Humedad							
Dias Clave		0	1	4	8	12	15	18	22
TC		0.2	0.79	1.47	2.38	3.38	4.47	4.59	6.5
I		0.221	0.58	0.77	2.32	3.06	3.3	5.6	8.25
S		0.54	0.88	1.13	2.15	2.58	4.38	6.05	8.0
NGN		0.81	0.93	1.11	1.82	2.34	4.15	5.35	7.25
BP		0.2	0.6	1.87	1.87	1.94	3.36	4.0	5.5
EV		1.04	1.5	1.6	2.02	2.63	4.44	5.75	7.85
A		1.05	1.38	1.57	1.69	2.64	4.06	5.25	7.5
CS		0.48	0.86	1.09	1.65	1.76	3.5	4.15	6.35

FIGURA 23a

Velocidad de flujo vs tiempo a 75% H.E.

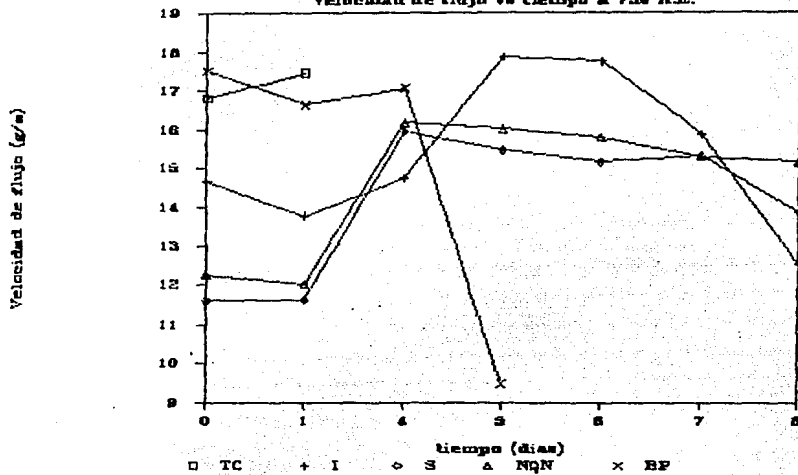


FIGURA 23b

Velocidad de flujo vs tiempo a 75% H.E.

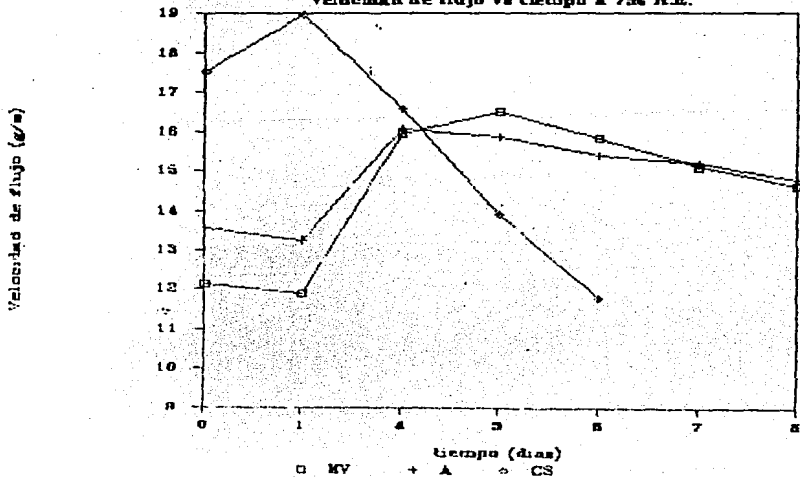


FIGURA 24a

% de Aglomeración vs tiempo a 75% H.E.

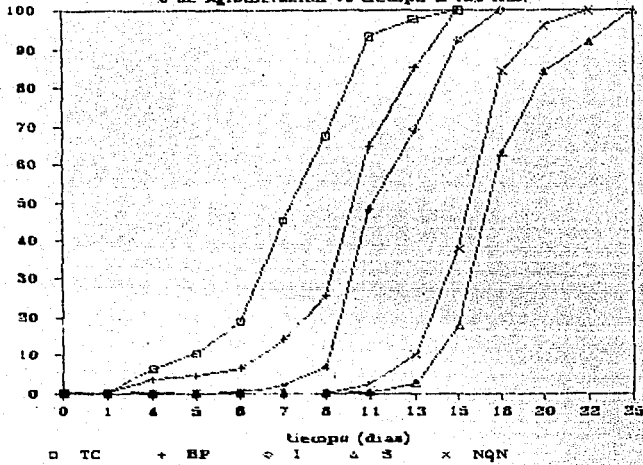
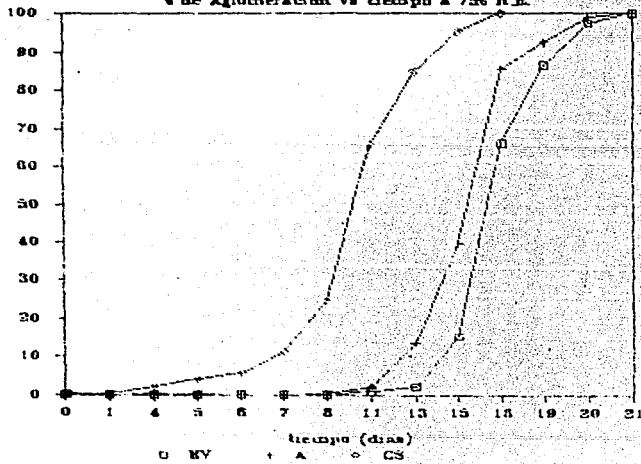


FIGURA 24b

% de Aglomeración vs tiempo a 75% H.E.



% de Aglomeración

% de Aglomeración

FIGURA 25a

Densidad aparente vs tiempo a 75% H.E.

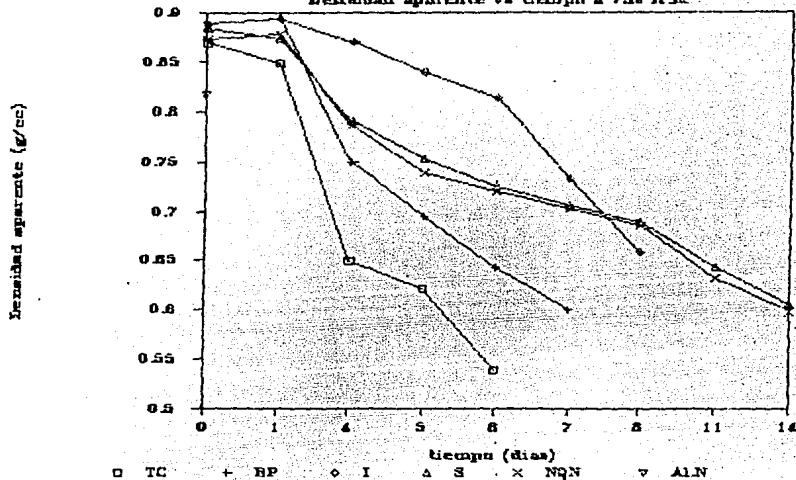


FIGURA 25b

Densidad aparente vs tiempo a 75% H.E.

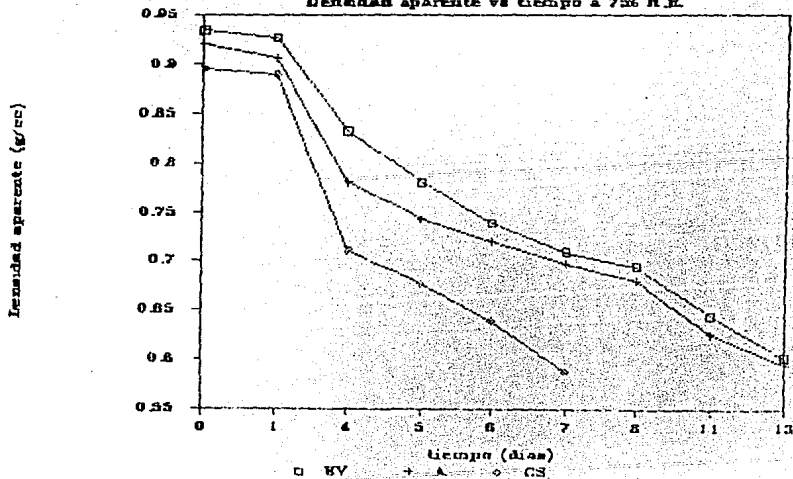


FIGURA 26a

% de Humedad vs tiempo a 75% H.E.

% de Humedad

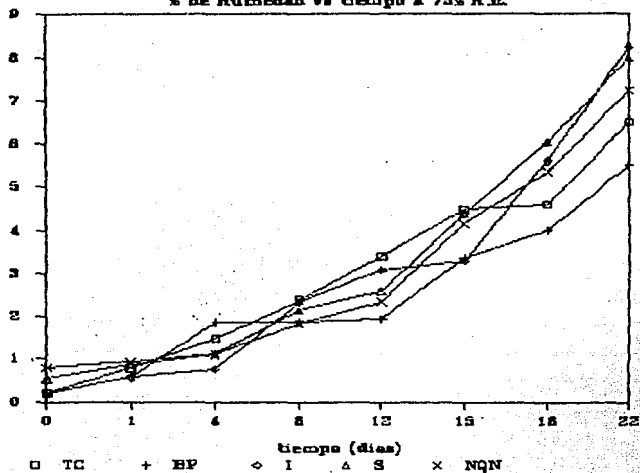
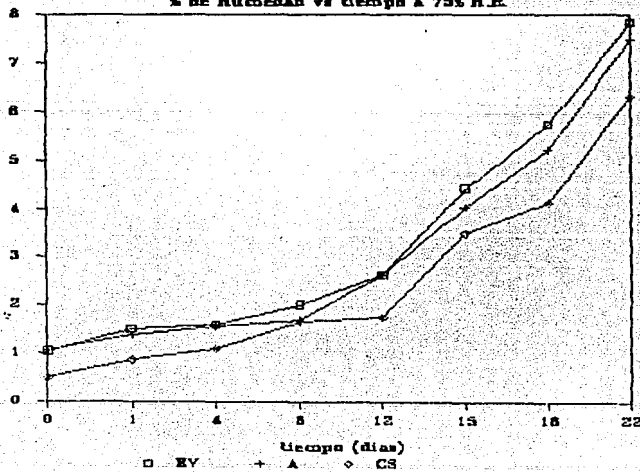


FIGURA 26b

% de Humedad vs tiempo a 75% H.E.

% de Humedad



5.- ANALISIS DE RESULTADOS.

Como se puede observar en la figura 10, a 23% H.R. no ocurrió aglomeración de las muestras, exceptuando ligeramente en el polvo tratado con CaCl_2 . Cabe mencionar que inicialmente se determinó la actividad acuosa (a_w) de cada mezcla a 25°C , obteniéndose un valor para la mezcla con CaCl_2 de 0.225 a_w , mientras que para las mezclas restantes el valor de a_w fué 0.27 ± 0.005 .

Del valor obtenido para las mezclas, se explica la ligera aglomeración observada con el CaCl_2 : esta mezcla adsorbió pequeñas cantidades de agua del ambiente en el que se encontraba, como se observa en la figura 18a, a causa de su elevada higroscopicidad; recuerdese que la adsorción y desorción de agua por parte de un material es dirigida por un gradiente de las presiones de vapor del agua entre el ambiente y el material. Esto último se ilustra a continuación:

Para el caso del CaCl_2 :

$$a_w(\text{amb}) \quad 0.23 \qquad a_w(\text{CaCl}_2) \quad 0.225$$

$$a_w(\text{amb}) > a_w(\text{CaCl}_2)$$

Por lo tanto:

$$\frac{P_{\text{vap}}(\text{amb})}{P_{\text{vap}}(\text{H}_2\text{O})} > \frac{P_{\text{vap}}(\text{CaCl}_2)}{P_{\text{vap}}(\text{H}_2\text{O})}$$

Multiplicando ambos términos por $P_{\text{vap}}(\text{H}_2\text{O})$:

$$P_{\text{vap}}(\text{amb}) > P_{\text{vap}}(\text{CaCl}_2)$$

Para el caso de las sustancias restantes:

$$a_w(\text{amb}) \quad 0.23 \qquad a_w(\text{material}) \quad 0.27$$

$$a_w(\text{amb}) < a_w(\text{mat})$$

Por lo tanto:

$$\frac{P_{\text{vap}}(\text{amb})}{P_{\text{vap}}(\text{H}_2\text{O})} < \frac{P_{\text{vap}}(\text{mat})}{P_{\text{vap}}(\text{H}_2\text{O})}$$

Multiplicando ambos términos por $P_{\text{vap}}(\text{H}_2\text{O})$:

$$P_{\text{vap}}(\text{amb}) < P_{\text{vap}}(\text{material})$$

La mezcla con CaCl_2 adquirió un aspecto "moteado" en los inicios del almacenamiento, por causa del desarrollo de color en ciertos puntos, distribuidos en todo el volumen de la mezcla, lo cual es índice de que el CaCl_2 no se adhirió a las partículas del polvo

base, distribuyéndose al azar entre las partículas del mismo. Por otra parte, al observar que las mezclas restantes presentaron un desarrollo de color uniforme, a mayores valores de H.R., conforme transcurrió el tiempo de almacenamiento, se asumió que los materiales correspondientes sí cubrieron a las partículas del polvo base. Con base en lo anterior y en las composiciones químicas de los materiales y del polvo base, es muy probable que la adherencia entre éstos sea mediante puentes de hidrógeno. Nótese en la figura 27, que todos los materiales, con excepción del CaCl_2 , contienen átomos en su estructura que son capaces de formar puentes de hidrógeno y el polvo base contiene, entre otros ingredientes, azúcar, saborizantes y vitaminas, capaces también de interactuar por puentes de hidrógeno con otros compuestos.

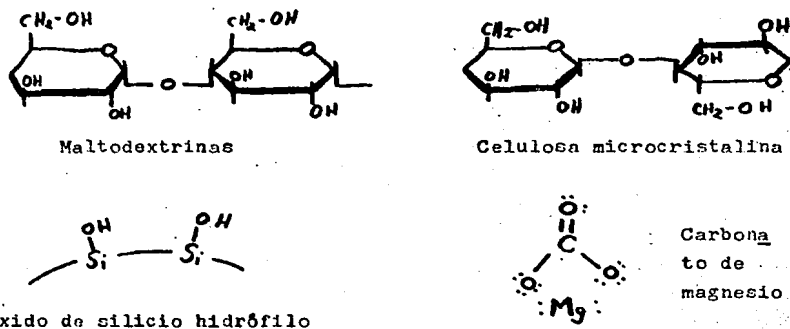


FIGURA 27. ESTRUCTURA QUIMICA DE ALGUNOS DE LOS MATERIALES E VALUADOS.

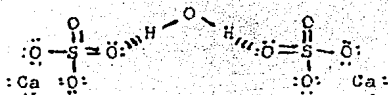
De los resultados obtenidos, globalmente encontramos que existe cierta relación entre el % de humedad de las mezclas y su densidad aparente. Esto es más notorio en las gráficas correspondientes obtenidas a 25% y 52% H.R., ya que en estos ambientes la ganancia de humedad por parte de las mezclas no fué tan brusca como lo fué a 75% y 85% H.R. Esta relación se establece porque la aglomeración

del polvo base es causada por ganancia de humedad; la cual, como se señaló en la sección 1.2, se deposita en la superficie de las partículas del polvo y se forman los puentes líquidos, que incrementan la cohesividad de las partículas. De esta manera, en caso de que el polvo no permanezca en completo reposo, con la agitación el arreglo de las partículas del mismo cambiará gradualmente, lo cual traerá como consecuencia la disminución de la densidad aparente del polvo.

Por otro lado, se encontró un incremento de la rapidez de la aglomeración a medida que el valor de humedad relativa aumenta; esto queda ilustrado en la figura 22 en la cual aparecen las gráficas de % de aglomeración a las cuatro humedades relativas, para las mezclas con CaCl_2 .

En relación al efecto que tuvo la adición de cada uno de los materiales al polvo base, vemos primeramente que el CaCl_2 no solamente no resultó un buen anti-aglomerante; sino que, al contrario, su adición provocó que el polvo base tomara humedad del ambiente en mayor cantidad que sin la adición de cualquiera de los materiales, y esta humedad ganada se difundió rápidamente a todo el volumen del polvo, por lo cual la aglomeración fue más rápida que en el polvo testigo incluso. En este caso, el CaCl_2 actuó como humectante del polvo base; lo anterior se observa claramente en las figuras 10, 11, 18a y 19a.

El CaSO_4 fue elegido por su insolubilidad en agua y porque ha sido empleado como agente deshidratante para disolventes orgánicos (15); sin embargo, observamos que su acción como anti-aglomerante es prácticamente nula; ya que la mezcla en la cual se adicionó tuvo un comportamiento similar al del polvo testigo. La pobre efectividad del CaSO_4 como anti-aglomerante, probablemente se debe a la baja capacidad de enlazamiento de agua del mismo, la cual es de sólo 1/2 molécula de agua por cada molécula de CaSO_4 (15). A continuación se muestra el modelo de enlazamiento de agua propuesto para este compuesto:



Por este motivo, la cantidad de agua disponible en el ambiente de almacenamiento (particularmente a 75 y 85% H.R.) sobrepasó la capacidad de enlazamiento del CaSO_4 muy rápidamente; en consecuencia, después de que se saturó el CaSO_4 la humedad pasó rápidamente hacia el polvo base en forma de vapor o bien, difundiéndose de la película líquida que probablemente se formó sobre el CaSO_4 después de su saturación.

En lo referente al comportamiento de las maltodextrinas empleadas, observamos también un comportamiento similar al del polvo testigo. Inicialmente se pensó en una cobertura deficiente por parte de las maltodextrinas; sin embargo, en la figura 21a y b, observamos diferencias en los valores de % de humedad del polvo testigo y el que fue tratado con las maltodextrinas; lo cual nos indica que la adición de las maltodextrinas modificó ligeramente las características. La mayor modificación fue por parte de la maltodextrina de 10 D.E.; la de 5 D.E. prácticamente no modificó el comportamiento del polvo base. La diferenciación entre el polvo testigo y el tratado con la maltodextrina de 10 D.E. a 85% H.R. y no a valores inferiores, se debe probablemente a que este valor de humedad relativa es crítico para al menos uno de los componentes del polvo base: la sacarosa. En este valor de H.R. ocurre un agudo incremento en la adsorción de agua por parte del azúcar (42). Por este motivo, el polvo testigo, al no encontrarse protegido, deja libremente expuesta al azúcar hacia la atmósfera; en tanto que con el empleo de la maltodextrina de 10 D.E. las partículas del azúcar son cubiertas y así se modifican sus características de adsorción. A pesar de esto, la aglomeración se efectuó prácticamente a la misma rapidez en el polvo protegido y en el testigo, por causa de la misma naturaleza de las maltodextrinas: éstas son productos de la hidrólisis parcial del almidón y están constituidas por diversas

fracciones de diferente longitud de cadena. La proporción de estas fracciones depende del grado de hidrólisis y del tipo de almidón del cual provenga la maltodextrina. La proporción de estas fracciones determina el grado de solubilidad de la maltodextrina: a mayor grado de hidrólisis, o equivalente de dextrosa, mayor es la solubilidad de la maltodextrina. La maltodextrina de menor equivalente de dextrosa es soluble en agua fría hasta un 30% de sólidos. Con esto se explica la rápida aglomeración de las muestras que contenían maltodextrinas: al condensarse humedad en las partículas de éstas, las fracciones de bajo peso molecular se disolvieron y esta solución se difundió a todo el polvo, incrementándose entonces la cohesividad de las partículas, lo cual trajo como consecuencia la aglomeración del producto. Es de interés notar que, a pesar de que se esperaba un mayor % de humedad en la muestra que tenía maltodextrina de 10 D.E. que en la de 5 D.E., ocurrió lo contrario. Esto se debe a que la maltodextrina de 10 D.E. empleada proviene de maíz "waxy", mientras que la de 5 D.E. proviene de maíz normal. El maíz "waxy" posee una proporción muy baja de amilosa, el componente lineal del almidón; casi todo este almidón se constituye de amilopectina y por este motivo, al hidrolizarse ésta las fracciones liberadas son de cadena más larga que las fracciones liberadas en la hidrólisis del almidón normal; ya que éste contiene una proporción más elevada de amilosa, la cual se hidroliza más fácilmente en fracciones de bajo peso molecular y esto ocasiona que la maltodextrina de almidón normal sea ligeramente más higroscópica que la maltodextrina de maíz "waxy".

Antes de analizar el comportamiento de la celulosa microcristalina, se describirán algunas características de la misma:

Este tipo de celulosa difiere de la celulosa normal, en que es no fibrosa. Es preparada por hidrólisis ácida de la pulpa de madera por medio de un proceso patentado (13). El fabricante recomienda su empleo como anti-aglomerante en queso rayado y mezclas secas a una concentración de 1% previamente secado (1, 4).

La celulosa microcristalina no tuvo alta efectividad como anti-aglomerante, lo cual puede observarse en las gráficas 12b y 13b. Esta baja efectividad, a pesar de su afinidad por el agua e insolubilidad en ésta, probablemente se debió al tamaño de partícula de este material, que fué de aproximadamente 50 micras (4); mientras que el tamaño de partícula promedio del polvo base fué de 400 micras: a causa del tamaño relativamente grande de las partículas de la celulosa, ésta no cubrió perfectamente a cada partícula de polvo base, ya que los poros formados entre cada partícula de celulosa fueron demasiado grandes y entonces el agua pudo penetrar libremente hacia el polvo base a través de los poros.

Existen varios trabajos (17,26) en los cuales se cita al carbonato de magnesio como un efectivo agente anti-aglomerante; sin embargo no resultó así en nuestro caso. En los trabajos encontrados se ha reportado al carbonato básico de magnesio, cuya fórmula es $4\text{MgCO}_3 \cdot \text{Mg}(\text{OH})_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, como anti-aglomerante efectivo para sal y azúcar. Aunque no se reporta su mecanismo de acción, su efectividad es atribuida a su tamaño reducido de partícula y al efecto de los grupos hidrofílicos que lo componen, como son los grupos hidroxilo del $\text{Mg}(\text{OH})_2$ y el grupo carbonilo del MgCO_3 , los cuales forman puentes de hidrógeno con el agua y de esta forma la fijan. Sin embargo, a 75% H.R. la cantidad excesiva de humedad en el ambiente sobrepasó rápidamente la capacidad de enlazamiento de agua del carbonato de magnesio, y entonces se difundió el agua hacia las partículas del polvo base.

El mismo mecanismo anterior puede aplicarse al fosfato tricálcico, el cual es empleado como $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{Ca}(\text{OH})_2$; como se observa, este compuesto posee grupos hidrofílicos similares a los del carbonato de magnesio, aunque en mayor cantidad; esto último, aunado a su fino tamaño de partícula e insolubilidad en agua es probablemente lo que influyó en su mayor efectividad como anti-aglomerante en relación con los materiales anteriormente analizados. En las figuras 21a y 21b observamos que el fosfato tricálcico (su mezcla con el polvo base) adsorbe menos humedad que la mezcla con carbonato de magnesio, aunque pareciera que debía ser al contrario por la

mayor cantidad de grupos hidrofílicos que posee el fosfato tricálcico; sin embargo, probablemente este compuesto actúe como una especie de amortiguador, atrapando fuertemente mayor cantidad de humedad que la atrapada por el $MgCO_3$ y de esa forma evita al máximo que el polvo base atrape esa humedad rápidamente.

Observando las figuras 12a y 13a vemos que todas las mezclas en un 100% a causa de la excesiva cantidad de agua en el ambiente; sin embargo los polvos tratados con dióxido de silicio, Biopolímero 804 y Acetímero FT taradron más en aglomerarse, con lo cual, estos materiales demostraron su mayor efectividad como anti-aglomerantes.

Como se explicó en el punto 1.1.5, la alta efectividad de esta sílica radica en su composición, fino tamaño de partícula y en su peculiar estructura. Por otra parte, de acuerdo con la información obtenida acerca del Biopolímero 804 y del Acetímero FT, éstos también poseen una estructura porosa y poseen en su composición grupos capaces de interaccionar por medio de puentes de hidrógeno con el agua; por este motivo se considera que su mecanismo de acción es similar al del dióxido de silicio hidrófilo evaluado; pero resultando con mejor efectividad que éste último, a la concentración de empleo.

Finalmente, en esta fase pudimos establecer qué materiales resultaron mejores como anti-aglomerantes y asimismo se encontró que la estructura física del anti-aglomerante es muy importante, ya que de ésta dependerá la manera como sea atrapada el agua para evitar en lo posible que ésta llegue hasta el polvo base. Lo anterior se muestra más claramente en las figuras 15a y 15b, en las cuales se aprecia la diferencia en los valores de densidad aparente de las mezclas con SiO_2 , Biopolímero 804, fosfato tricálcico y Acetímico FT con respecto a las mezclas con los materiales restantes, a pesar de que todas las mezclas resultaron con % de humedad muy parecidos (véanse las figuras 19a y 19b).

Segunda fase:

Los materiales con los cuales se obtuvieron mejores resultados en la primera fase (Biopolímero 804 y Acetímero FT) fueron de nueva cuenta ensayados, aunque sólo a 75% H.R. (por el motivo explicado en la sección 2.2.3); con la finalidad de determinar el efecto de estos materiales en la velocidad de flujo del polvo base. Esto se realizó para determinar si el mejor anti-aglomerante es también el mejor auxiliar de flujo a la misma concentración, lo cual es una idea generalizada.

Además de evaluar cada material por separado, se hicieron mezclas de dióxido de silicio con los tres materiales restantes, añadiendo el primero en concentración de 1% a estos materiales. Con esto se buscaba lograr una mejora en la efectividad como anti-aglomerantes del Biopolímero 804, Acetímero FT y fosfato tricálcico. Después de hechas las mezclas, cada una fué también adicionada al polvo base. En la figura 28 se esquematiza el modelo de mezcla anti-aglomerante que se quiso formar.

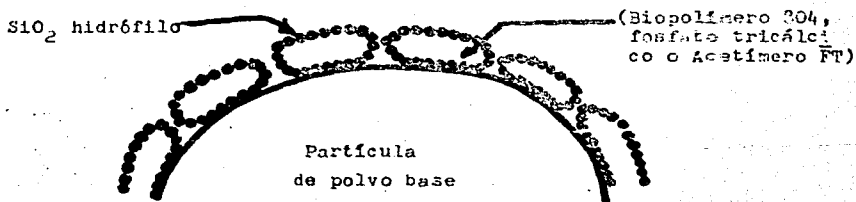


FIGURA 28. MODELO DE MEZCLA ANTI-AGLOMERANTE.

Con estas mezclas se buscaba obtener una doble barrera protectora. Se escogió al SiO_2 como "anti-aglomerante" de los otros 3 materiales, a causa de que su tamaño de partícula era inferior al tamaño de las partículas de Biopolímero y Acetímero, el cual era de 25 micras (el tamaño del SiO_2 eran 3 micras; véase la tabla 2).

En las figuras 24a y 24b observamos que estas mezclas anti-aglomerantes no resultaron mejores que los materiales respectivos

individuales. En consecuencia, inicialmente se pensó que no hubo cobertura de los materiales por parte del SiO_2 ; sin embargo, de los resultados obtenidos en las determinaciones de densidad aparente y velocidad de flujo (figuras 23a, 23b, 25a y 25b), se observa, que los valores obtenidos inicialmente en ambas determinaciones, fueron mayores con las mezclas anti-aglomerantes Biopolímero/ SiO_2 y Acetímico/ SiO_2 , que con el empleo del Biopolímero y Acetímico individualmente. Por otro lado, de los mismos resultados se dedujo que la mezcla con el fosfato tricálcico no fué formada de acuerdo al modelo de la figura 28: ya que los resultados de densidad aparente y velocidad de flujo de la mezcla son prácticamente iguales a los obtenidos con el empleo de fosfato solo.

El resultado más sobresaliente es que el fosfato tricálcico resultó ser el mejor auxiliar de flujo a las concentraciones empleadas; pero no fué el mejor anti-aglomerante.

La baja velocidad de flujo encontrada para los polímeros probablemente se debe a su tamaño de partícula y a que tal vez ésta sea de forma irregular, con lo cual se provoca mayor fricción entre las partículas de éstos que la producida entre las partículas del polvo base, por lo cual inicialmente fluye más rápido el testigo que el polvo protegido con estos materiales.

Es interesante notar en la gráfica de velocidad de flujo, que prácticamente en todas las muestras, se incrementa la velocidad después de iniciado el almacenamiento, hasta que se llega a un valor máximo e inmediatamente después disminuye el valor. Este incremento en la velocidad de flujo se debe a que el tamaño promedio de las partículas aumenta conforme ocurre la aglomeración, y a causa de este incremento de tamaño, las fuerzas de fricción y la ligera cohesividad inicial de las partículas se minimizan en relación al peso de cada pequeño aglomerado. La disminución de la velocidad de flujo comienza cuando el tamaño del aglomerado y la cohesividad del mismo empiezan a oponerse significativamente al flujo; lo cual sucede por la formación de superficies muy rugosas, al incrementarse el tamaño de los aglomerados, incrementándose la fricción entre

estas partículas, al mismo tiempo que se incrementa la cohesividad de las mismas notablemente por el exceso de humedad.

En la figura 24a observamos que se repitieron los resultados obtenidos en la primera fase a este mismo valor de humedad relativa: resultaron más efectivos como anti-aglomerantes el Acetímero FT y el Biopolímero 804 que los anti-aglomerantes comerciales evaluados.

Comparando las figuras 12a y 24a observamos que hubo un acortamiento ligero del tiempo de aglomeración en la segunda fase; esto ocurre a causa de las dimensiones de los recipientes empleados para el almacenamiento; los recipientes empleados en la segunda fase presentaron una relación área/volumen mayor que los recipientes de la primera fase, y por este motivo ocurrió más rápidamente la aglomeración en la segunda fase; a continuación se ilustra lo anterior:

Area de la boca del vaso de pp de 100 ml:	19.63 cm ²
Volumen de polvo en el vaso	: 76 cm ³
Relación Área/Volumen	: 0.258 cm ⁻¹
Area de la charola de aluminio	: 226.98 cm ²
Volumen del polvo en la charola	: 630 cm ³
Relación Área/Volumen	: 0.36 cm ⁻¹

Esta influencia de la relación área/volumen coincide con otros trabajos publicados (26,51).

El aumento en la velocidad de aglomeración a medida que se incrementa la relación área expuesta/volumen del polvo, se debe a que la difusión del agua hacia todo el volumen de polvo será más rápida, porque la distancia relativa que tendrá que recorrer la humedad será menor conforme el área expuesta del polvo aumente para un volumen determinado. Por ejemplo: en la figura 29 se tienen 3 recipientes de diferentes medidas, pero con igual volumen. En el recipiente 1 la aglomeración de un polvo será más rápida; porque la distancia que debe recorrer la humedad hacia el fondo

del recipiente para mojar a todo el polvo es menor que en el recipiente 2 y en este, a la vez, es menor que en el recipiente 3; por lo tanto, la rapidez de la aglomeración será: 1 > 2 > 3 .

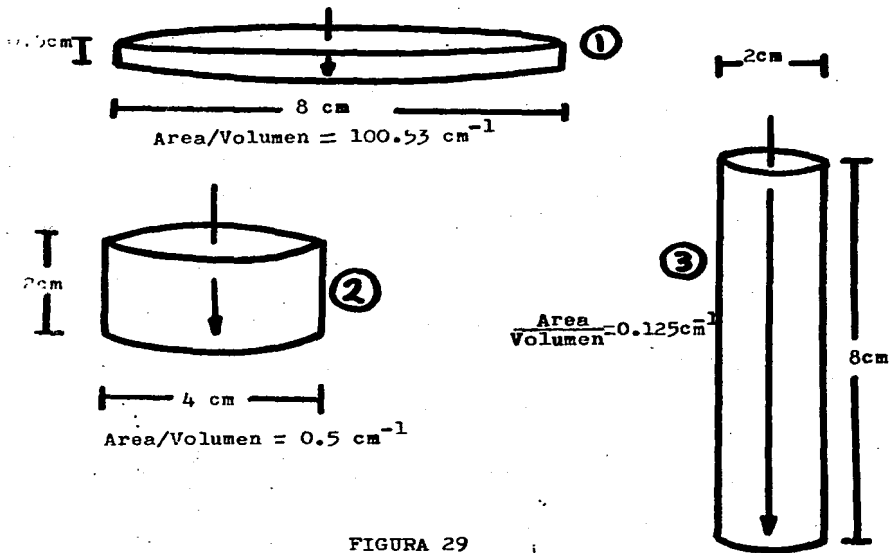


FIGURA 29

Finalmente, con base en los resultados obtenidos, se encontró que el mejor anti-aglomerante fué el Biopolímero 804, resultando incluso el empleo de éste más económico que usar SiO_2 , aún a las concentraciones de cada uno. Esta afirmación tiene su fundamento en los precios de estos materiales hasta Julio de 1986, que fueron los siguientes:

Biopolímero 804: \$680.00

SiO_2 hidrófilo : \$3500.00

Puesto que se empleó una cantidad 5 veces mayor del Biopolímero con relación a las concentraciones empleadas de ambos materiales, tenemos que por cada Kg de SiO_2 se hubieran usado 5 Kg del

Biopolímero, entonces, el costo de emplear cada uno de estos materiales por cada 100 Kg de producto sería :

1 Kg SiO_2 \$3500.00

5 Kg de Biopolímero \$3400.00

Como vemos, a la concentración empleada de Biopolímero, éste resulta aún mas barato que el SiO_2 y además se obtiene mayor efectividad como anti-aglomerante; asimismo, el SiO_2 empleado es importado mientras que el Biopolímero es producido en México; esto ocasiona que el costo de éste último se incremente en menor proporción, en comparación con el costo del SiO_2 que se incrementa aún más por la devaluación constante del peso frente al dolar. Finalmente, otro punto en contra del SiO_2 son los hallazgos recientes (7), en relación al efecto que presentan las impurezas que contiene el SiO_2 como catalizadores de la hidrólisis del enlace éster de ciertos fármacos, ocasionando que éstos pierdan actividad. Si extrapolamos esto al campo alimentario, vemos que la mayoría de los saborizantes empleados están constituidos por ésteres; por lo cual, el empleo de SiO_2 como anti-aglomerante podría causar pérdidas de sabor en el producto durante su almacenamiento, especialmente en condiciones de humedad relativa elevada; esto podría corroborarse en un trabajo posterior.

6.- CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES.

6.1. CONCLUSIONES:

1.- Algunas de las características que debe poseer un buen anti-aglomerante son:

- No ser tóxico.
- Poseer un fino tamaño de partícula, para lograr una cobertura eficiente del polvo base.
- Poseer una elevada capacidad de enlazamiento de agua, de tal forma que compita con el polvo base por el vapor de agua del ambiente. O bien que el anti-aglomerante sea hidrófobo, para constituir una barrera impermeable al agua.
- Aunado a la alta capacidad de enlazamiento de agua, debe poseer una estructura porosa, para atrapar el agua de manera más efectiva y así impedir al máximo su difusión hacia el polvo base.
- No debe impartir características sensoriales indeseables al alimento al cual se añaden.

2.- El anti-aglomerante adecuado a emplear en un polvo, debe ser elegido mediante ensayo.

3.- No necesariamente un buen anti-aglomerante resultará ser también un buen auxiliar de flujo; por lo cual, siempre debe tenerse presente la finalidad de añadir un anti-aglomerante: si se requerirá para el almacenamiento del alimento o para facilitar su manejo durante el proceso de producción.

4.- El empleo de un buen anti-aglomerante, aunado a las buenas propiedades de barrera del empaque, mantendrá al polvo sin aglomerarse durante un tiempo prolongado.

5.- Se debe determinar, en base a la composición del polvo, qué factor (temperatura, humedad relativa o una combinación de ambos) inducirá su aglomeración, y de esta manera tomar las medidas preventivas en lo referente a empaque y tipo de anti-aglomerante a emplear.

6.- Los mejores anti-aglomerantes fueron: Biopolímero 804 y Acetímico FT, los cuales resultaron más efectivos que los anti-aglomerantes comerciales evaluados, a las concentraciones empleadas cada uno y con un menor costo.

7.- Actualmente se observa que, por causa de los elevados costos de transporte, cada día se requieren mayores cantidades de materiales deshidratados, muchos de ellos en polvo y por tanto son susceptibles de aglomerarse; asimismo, la prolongación de la vida de anaquel de los productos en polvo requiere especial atención en lo concerniente a su apariencia, la cual se puede deteriorar seriamente por causa de la humedad y traducirse en: aglomeración, desarrollo de color y efectos indeseables en el perfil sensorial del producto. Estos hechos, aunados al elevado costo de los agentes anti-aglomerantes importados, así como a la necesidad de reducir los costos de producción sin afectar seriamente la calidad de los productos, son razones muy importantes para buscar nuevos materiales que puedan ser empleados como anti-aglomerantes y que preferentemente sean producidos en México para asegurar que sean fácilmente adquiribles y de menor costo que los anti-aglomerantes comerciales existentes.

6.2. RECOMENDACIONES:

1.- Continuar con la búsqueda de materiales alternos que puedan ser empleados como anti-aglomerantes con menor costo que los tipos comerciales existentes. Asimismo, se recomienda ensayar concentraciones de Biopolímero 804 y Acetímico FT más bajas que 5% para tener aún un buen efecto anti-aglomerante; pero todavía con más bajo costo.

2.- La influencia de la relación área expuesta/ volumen, de los empaques de los alimentos en polvo, podría evaluarse en un posterior trabajo, para tratar de encontrar dimensiones óptimas del empaque, con la finalidad de evitar la aglomeración de los polvos durante un mayor tiempo.

3.- Se recomienda evaluar la pérdida de sabor en los alimentos en polvo, ocasionada por el efecto hidrolítico de las impurezas contenidas en los diferentes tipos de dióxido de silicio empleados como anti-aglomerantes.

7.- BIBLIOGRAFIA .

1. Avicel applications: Bulletin No. PH-108 "Avicel PH-101 in grated and shredded cheese" FMC Corp. Avicel Department.
2. Badui, S. "Química de los alimentos" Ed. Alhambra. México, 1982.
3. Bauder, U. "How to improve the filling accuracy of food powders." Food Engineering International, No. 12: 23-25 (1978).
4. Bulletin G-54: "Formulation Guide". FMC Corp. Avicel Department.
5. Casillas, F.J. Comunicación personal.
6. Cruz, R. Comunicación personal.
7. Daniels, R. "Estabilidad de fármacos adsorbidos en sílica": Drug. Dev. Ind. Pharm. V. 12, Dic. (1976).
8. Danish, F.Q. "Flow rates of solid particulate pharmaceuticals". J. of Pharmaceutical Sciences. 60(4), (1971).
9. Durán, F. Comunicación personal.
10. "Escenarios económicos de México 1981-1985". S.P.P. México, 1981.
11. "Evaluación de ciertos aditivos alimentarios". 20 Informe del Comité Mixto FAO/OMS de Expertos en aditivos alimentarios. Serie de Informes Técnicos No. 599. Ginebra, 1976.
12. "Evaluación toxicológica de ciertos aditivos alimentarios". 17o. Informe del Comité Mixto FAO/OMS de Expertos en aditivos alimentarios. Serie de Informes Técnicos No. 539. Ginebra, 1974.
13. Furia, T. "Handbook of food aditives". 2a. ed. CRC Press, 1975.
14. Gamboa, C. Comunicación personal.
15. Gordon & Ford. "The chemist's companion: A handbook of practical data techniques and references". John Wiley & Sons. U.S.A., 1972.
16. "HDK: El agente espesante". Wacker Chemie GmbH.

17. Irani, R. "Flow conditioning and anticaking agents". Industrial and Engineering Chemistry. V. 51(10), (1959).
18. Labuza, T. "Sorption phenomena in foods". Food Technology, 22(3), 1968.
19. Labuza, T. "Water activity determination: a collaborative study of different methods". J. of Food Science. V. 41, (1976).
20. Labuza, T. "The effect of water activity on reaction kinetics of food deterioration". Food Technology. Abril, 1980.
21. Linsen, B. "Physical and chemical aspects of adsorbents and catalysis". Ac. Press G.B.; 1970.
22. "Maltrin maltodextrins and corn syrup solids: Brilliance in food and pharmaceutical technology". Grain Processing Corp. U.S.A.
23. Manual de estadísticas básicas: "Sector industrial. Información censal estatal". Direcc. Gral. de Estadística. S.P.P. México, 1981.
24. "Material safety data sheet". W.R. Grace & Corp. Davison Chem. Division. July 3, & Dec. 13, 1985.
25. Moreyra, R. & Peleg, M. "Effect of equilibrium water activity on the bulk properties of selected food powders". J. of Food Science, V. 14:1918-1922 (1981).
26. Voss, H.V. "Tricalcium phosphate as a caking inhibitor in salt and sugar". Ind. Eng. Chem. January, 1948.
27. Murray, D.G. "Low D.E. corn starch hydrolysates". Food Technology. March, 1973.
28. Nash, J. "Effects of antiagglomerants agents on physical properties of finely divided solids". Ind. Eng. Chem. 4(2):140-145 (1965).
29. "Normales Climatológicas Período 1941-1970". S.M.N. Dir. Gral. de Geografía y Meteorología. México, 1976.
30. Nuñez, M. Comunicación personal.
31. Noticias Roche: "Advertencias sobre las pruebas simples de

- fluidez". Productos Roche. México, marzo, 1987; p. 3.
32. Parffit, G. & Sing. "Characterization of powder surfaces". Academic Press. G.B., 1976.
 33. Peleg, M. "Effect of conditioners on the flow properties of powdered sucrose". Powder Technology. 7:45 (1973).
 34. Peleg, M. & Mannheim, C. "Flow properties of some food powders". J. of Food Science. 38:959-964 (1973).
 35. Peleg, M. "Flowability of food powders and methods for its evaluation. A review". J. of Food Process Engineering. 1(4):303-328 (1977).
 36. Peleg, M. & Hollenbach, A. "Flow conditioners and anticaking agents". Food Technology. 38(3):93-102 (1984).
 37. "Precipitated silicas and silicates: Production, characteristics and applications". Degussa, A.G.
 38. Quast, D.G. "Moisture problems of Foods in tropical climates". Food Technology, May, 1976.
 39. Rockland, L. "Saturated salt solutions for static control of relative humidity between 5 and 40°C". J. Analytical Chem. V. 32, (1960).
 40. Romano, V. Comunicación personal.
 41. Scoville, E. & Peleg, M. "Evaluation of the effects of liquid bridges on the bulk properties of model powders". J. of Food Science. 46: 174-177 (1981).
 42. Sloan, A.E. "Investigating alternative humectants for use in foods". Food Product Development. Sep., 1975.
 43. Stokes. "Standard solutions for humidity control at 25°C". Ind. Eng. Chem. Sep., 1949.
 44. "Syloid: Multifunctional silicas for the food industry". W.R. Grace & Co Davison Chemical Division.

45. "Toxicological evaluation of some food colours, emulsifiers, stabilizers, anti-caking agents and certain other substances". F.A.O. Nutrition Meetings, Report Series No. 46A.
46. Troller, J.A. "Influence of water activity on microorganisms in Foods". Food Technology. May, 1980.
47. "Wacker HDK ácido silícico hidrófobo". Wacker-Chemie GmbH.
48. Whittier, E.Q. "Vapor pressures of saturated equilibrated solutions of lactose, sucrose, glucose and galactose".
49. "X Censo Industrial 1976". Dirección General de Estadística, S.P.P. México, 1976.
50. Young, J.F. "Humidity control in the laboratory using salt solutions: a review". J. Applied Chem. V. 17 (1967).

8.-ANEXO.

HUMEDADES RELATIVAS ANUALES EN LA REPUBLICA MEXICANA

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM. ANUAL
AGS.	57	52	46	43	46	59	65	67	69	64	59	61	57
ENSENADA	76	74	78	73	79	80	82	82	82	81	74	75	78
LA PAZ	69	62	62	61	60	59	60	64	65	64	64	65	62
CAMPECHE	79	76	73	72	73	75	77	79	80	79	80	80	76
MONCLOVA	63	58	52	50	54	54	52	55	63	63	63	62	57
SALTILLO	62	59	54	54	58	62	65	68	72	70	64	62	62
TORREON	53	43	40	41	36	45	48	51	54	52	51	54	47
COLIMA	62	60	57	54	57	71	77	73	80	76	70	66	67
MANZANILLO	71	71	71	73	74	75	75	76	79	77	75	73	74
CHIHUAHUA	50	42	35	31	31	36	51	54	57	51	49	51	44
D.F.	54	48	44	45	53	64	70	72	72	66	61	58	58
DURANGO	49	44	36	36	39	49	58	61	62	57	49	52	49
GTO.	47	40	34	34	41	56	60	60	62	55	52	50	49
LEON	60	55	49	47	51	61	66	67	67	63	59	61	58
PACHUCA	61	56	52	54	61	70	74	74	77	62	77	63	65
GUADALAJARA	52	46	41	37	42	61	71	73	73	66	58	56	56
TOLUCA	57	53	49	51	61	72	75	74	76	70	64	62	63
MORELIA	60	54	49	48	54	67	72	72	73	69	66	65	62
MONTERREY	66	65	61	63	66	66	63	65	70	71	70	68	66
PUEBLA	54	49	43	45	54	64	66	67	70	65	59	57	57
ORO.	50	46	41	41	47	56	60	61	63	59	54	53	52
COZUMEL	84	83	81	81	82	85	86	86	88	87	84	85	84
S.L.P.	51	43	39	37	47	56	60	61	65	63	57	56	52
CULIACAN	71	65	61	57	57	64	74	79	79	74	68	71	68
HERMOSILLO	50	43	40	34	30	34	48	53	48	42	45	45	43
TAMPICO	81	81	80	82	81	82	80	80	81	79	79	80	80
VERACRUZ	80	81	81	81	79	80	79	78	79	75	79	77	79
MERIDA	73	69	66	65	67	73	76	76	79	78	75	74	72

