



1  
209  
UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLAN

**ESTUDIO PARA LA INSTANTANIZACION  
DE LECHE ENTERA EN POLVO DAREL  
POR FLUIDIZACION**

**TESIS**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
**INGENIERO EN ALIMENTOS**

PRESENTA

**JESUS RODOLFO AVIÑA CERECER**



DIRECTOR DE TESIS  
Dr. JOSE LUIS ARJONA ROMAN

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

UNAM

1988



Universidad Nacional  
Autónoma de México

UNAM



## **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.

## R E S U M E N

ESTE ESTUDIO TIENE LA FINALIDAD DE DETERMINAR LAS VARIABLES QUE INFLUYEN EN LA RECONSTITUCION DE LECHE ENTERA EN POLVO SECADA POR ASPERSION TENIENDO COMO MATERIA PRIMA LECHE FRESCA, ASI COMO ESTABLECER HASTA DONDE ES POSIBLE, MEDIANTE UN PROCESO FISICO DE AGLOMERACION Y FLUIDIZACION, INFARTIR CUALIDADES INSTANTANEAS A UN PRODUCTO QUE HA SIDO PREVIAMENTE INSTANTANIZADO PERO QUE PRESENTA SERIAS DEFICIENCIAS EN SU RECONSTITUCION QUE LO HACEN COMERCIALMENTE INACEPTABLE.

PARA ELLO SE PLANTEARON DOS FASES DE TRABAJO, EN LA PRIMERA DE LAS CUALES SE VISITO LA PLANTA INDUSTRIAL DONDE SE ELABORA EL PRODUCTO CON EL PROPOSITO DE LLEVAR A CABO UN MONITOREO DE VARIABLES DE OPERACION A LO LARGO DE EL PROCESO QUE PERMITIESE CONOCER LAS CONDICIONES PROMEDIO BAJO LAS QUE SE PRODUCE LA LECHE Y QUE, COMPLEMENTADO CON DIVERSOS ANALISIS FISICOS, QUIMICOS Y ESTRUCTURALES DEL POLVO PERMITIESEN CONOCER LOS PARAMETROS QUE DETERMINAN LA REHIDRATABILIDAD DEFICIENTE QUE PRESENTA EN LA ACTUALIDAD EL PRODUCTO.

DURANTE LA SEGUNDA FASE SE LLEVO A CABO LA EXPERIMENTACION DE UN PROCESO DE AGLOMERACION POR NIEBLA Y POR VAPOR CON TRES DIFERENTES NIVELES DE HUMEDAD FINAL EN EL POLVO PARA FLUIDIZAR POSTERIORMENTE LAS MUESTRAS EN UN EQUIPO PILOTO DE COLUMNA DONDE FUE RON SECADAS HASTA UNA HUMEDAD FINAL DE 4% PESO.

LOS RESULTADOS DE LA PRIMERA FASE INDICAN QUE EXISTEN UNA SERIE DE DEFICIENCIAS TANTO DE TIPO ESTRUCTURAL COMO DE INTEGRIDAD DE LOS COMPONENTES DEL POLVO QUE OCASIONAN QUE LA RECONSTITUCION DEL MISMO SE DIFICULTE, INDEPENDIENTEMENTE DE OTRO TIPO DE DAÑOS AL ALIMENTO COMO SON LA DISMINUCION DE SUS PROPIEDADES NUTRITIVAS Y DE SU ESTABILIDAD DURANTE EL ALMACENAMIENTO.

ESTE POLVO SE EMPLEO COMO MATERIA PRIMA PARA LA SEGUNDA FASE DE LA CUAL SE PUEDE CONCLUIR QUE EL PROCESO DE INSTANTANIZACION, EN LAS CONDICIONES MANEJADAS, PUEDE MEJORAR LAS PROPIEDADES DE RECONSTITUCION DEL MISMO QUE SE HALLEN RELACIONADAS CON LA ESTRUCTURA EXTERIOR DE LA PARTICULA (COMO LA HUMECTABILIDAD), MIENTRAS QUE OTRAS PROPIEDADES COMO LA SOLUBILIDAD SE HALLAN EN FUNCION DE LOS TRATAMIENTOS TERMICOS Y MECANICOS PREVIOS DE LA MATERIA PRIMA POR LO QUE NO EXISTE MEJORIA CON UN PROCESO DE ESTE TIPO EN CUANTO A DICHA VARIABLE, EN TANTO QUE LA SUMERGIBILIDAD Y LA DISPERSIBILIDAD QUE SON FUNCION DE LA ESTRUCTURA GRANULAR INTERNA DEL POLVO NO FUERON MEJORADAS CON EL METODO EXPERIMENTADO DEBIDO A QUE CIERTAS CARACTERISTICAS ESTRUCTURALES DE LA PARTICULA DEPENDEN DIRECTAMENTE DE LAS CONDICIONES EN QUE SE REALIZARON LOS PROCESOS PREVIOS A LA EXPERIMENTACION EN EL LABORATORIO.

# I N D I C E

INTRODUCCION -----	1
OBJETIVOS -----	4
CAPITULO I.	
ANTECEDENTES GENERALES DEL DESARROLLO -----	5
1.1 ASPECTOS GENERALES DEL SECADO POR ASPERSION -----	5
1.2 ASPECTOS GENERALES DE LA INSTANTANIZACION -----	24
1.3 EFECTOS NOCIVOS DE UN TRATAMIENTO TERMICO INADECUADO --	43
CAPITULO II.	
METODOLOGIA EXPERIMENTAL -----	47
11.1 PRIMERA FASE -----	47
11.2 SEGUNDA FASE -----	53
CAPITULO III.	
ANALISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES -----	58
111.1 PRIMERA FASE -----	59
111.2 SEGUNDA FASE -----	71
111.3 CONCLUSIONES -----	82
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS -----	87
ANEXO DE FOTOGRAFIAS -----	89

## INTRODUCCION

EXISTEN EN EL MERCADO MEXICANO DIVERSAS PRESENTACIONES DE LECHE ENTERA INDUSTRIALIZADA COMO LA PASTEURIZADA, EVAPORADA, CONDENSADA, ULTRAPASTEURIZADA Y EN POLVO SIENDO ESTA ÚLTIMA LA FORMA MÁS EXTENDIDA DE CONSUMO DE ESTE ALIMENTO A NIVEL MUNDIAL DADA LA FACILIDAD QUE SE TIENE PARA SU MANEJO Y CONSERVACION; ACTUALMENTE, LA PRODUCCION NACIONAL DE LECHE ES DEFICITARIA PUES LA DEMANDA EXCEDE AMPLIAMENTE A LA PRODUCCION QUE, EN 1985, ASCENDIO A 7,033,600,000 LITROS (30) POR LO QUE EL ESTADO SE VE EN LA NECESIDAD DE RECURRIR AL MERCADO EXTERNO PARA SATISFACER LA DEMANDA IMPORTANDO EN ESE MISMO AÑO LECHE EN POLVO POR UN VALOR DE 112 MILLONES DE DÓLARES DE PAÍSES COMO CANADÁ, ESTADOS UNIDOS, AUSTRALIA Y OTROS, Y AUNQUE LA PRODUCCION ES VARIABLE LAS CONDICIONES ECONÓMICAS DEL PAÍS NO PERMITEN ESPERAR UN REPUNTE DE LA MISMA POR LO QUE EL GOBIERNO SEGURAMENTE CONTINUARÁ IMPORTANDO LECHE PARA VENDERLA POSTERIORMENTE A LOS INDUSTRIALES NACIONALES A PRECIOS SUBSIDIADOS PARA QUE A SU VEZ ELLOS LA REHIDRATEN Y PROCESEN NUEVAMENTE DISTRIBUYÉNDOLA EN EL MERCADO NACIONAL. EXISTEN, SIN EMBARGO, "PICOS" DE PRODUCCION DE LECHE FRESCA EN DIVERSAS ZONAS DEL PAÍS QUE POR LA DIFICULTAD Y EL COSTO QUE IMPLICA RECOLECTARLOS, TRANSPORTARLOS Y CONSERVARLOS NO SON ABSORBIDOS POR LA INDUSTRIA, SITUACION QUE CONSTITUYE UN ESLABÓN MÁS DEL CÍRCULO VICIOSO DE LA BAJA PRODUCCION DE LECHE EN MÉXICO.

UNA EXCEPCION DE LO ANTERIOR ES LA EMPRESA EN CUYAS INSTALACIONES SE EFECTUO UNA PARTE DE ESTA TESIS. ESTA EMPRESA ES LA ÚNICA DE CAPITAL PRIVADO 100% MEXICANO DENTRO DE LA ELABORACION A GRAN ESCALA DE LÁCTEOS PROCESADOS Y POR LOS VOLÚMENES QUE MANEJA COMERCIALMENTE Y GRACIAS A LA UBICACION DE SUS PLANTAS PROCESADORAS EN EL PAÍS, TIENE LA FACILIDAD DE RECURRIR A DICHS "PICOS" EN LA PRODUCCION PARA PROCESARLOS Y COMERCIALIZARLOS CON DIFERENTES MARCAS.

DEBIDO A LAS CARACTERÍSTICAS DE LA TECNOLOGÍA DE PRODUCCION QUE EMPLEA ESA EMPRESA PARA LA OBTENCION DE LA LECHE ENTERA EN POLVO, EL PRODUCTO PRESENTA SERIAS DIFICULTADES PARA SER RECONSTITUIDO POR EL CONSUMIDOR FINAL Y EXISTEN DEFICIENCIAS EN CUANTO A LA APARIENCIA DEL MISMO EN EL ENVASE ASÍ COMO EN EL ALIMENTO YA RECONSTITUIDO. ESTA SITUACION ES CAUSA DE QUE EXISTA UNA BAJA DEMANDA EN EL MERCADO HACIA ESTE PRODUCTO, DEVOLUCIONES AL FABRICANTE POR PARTE DEL COMERCIO DISTRIBUIDOR Y EN GENERAL, QUE EN ESTE ASPECTO LA EMPRESA SE ENCUENTRE EN DESVENTAJA DENTRO DEL MERCADO LO CUAL LÓGICAMENTE REPERCUTE DE MANERA NEGATIVA EN EL ESTÍMULO HACIA SUS PROVEEDORES DE LECHE FRESCA QUE EN SU MAYORÍA SON PEQUEÑOS PRODUCTORES QUE ENCUENTRAN EN ELLA A UN IMPORTANTE CLIENTE PARA CONTINUAR SU ACTIVIDAD.

ACTUALMENTE, LAS VENTAS DE LA EMPRESA EN EL RAMO DE LA LECHE

---ENTERA EN POLVO PARA CONSUMO GENERAL NO SIGNIFICAN NI EL 1% DE EL TOTAL DE SUS VENTAS EN UN PERIODO DETERMINADO Y PESE A LOS ESFUERZOS EN EL ÁMBITO DE COMERCIALIZACIÓN POR INCREMENTARLAS, ESTO NO SE HA LOGRADO POR EL RECHAZO DEL CONSUMIDOR A UN PRODUCTO QUE NO SE RECONSTITUYE FÁCILMENTE COMO SUCEDER CON LAS MARCAS DE LA COMPETENCIA.

ESTAS CIRCUNSTANCIAS HAN HECHO PENSAR A LA DIRECTIVA DE LA EMPRESA QUE ES NECESARIO IMPLEMENTAR LOS CAMBIOS ADECUADOS EN LA TECNOLOGÍA UTILIZADA HASTA EL MOMENTO A FIN DE OBTENER UN POLVO INSTANTÁNEO QUE COMPITA POR LA ACEPTACIÓN DEL PÚBLICO PUES DE OTRA MANERA LA ÚNICA ALTERNATIVA SERÍA CANCELAR LA PRODUCCIÓN DE ESE ALIMENTO POR INCOSTEABILIDAD, CON LOS GRAVES INCONVENIENTES QUE ELLO REPRESENTARÍA PARA LA EMPRESA Y SUS TRABAJADORES ASÍ COMO PARA LOS PRODUCTORES DE LECHE QUE LA ABASTECEN. DEBIDO A LO ANTERIOR, SE LOGRÓ ESTABLECER CONTACTO CON ESTA EMPRESA Y ALCANZAR UN ACUERDO DE TAL FORMA QUE PROPORCIONASE LAS FACILIDADES PARA HACER UN ESTUDIO DEL PROBLEMA EN SUS INSTALACIONES Y FACILITANDO MUESTRAS QUE SIRVIERAN EN LA ELABORACIÓN DE LA PRESENTE TESIS PARA APROVECHAR LAS SUGERENCIAS QUE SE LE HICIERAN, DERIVADAS DEL ANÁLISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES.

COMO SE HA MENCIONADO, LAS CARACTERÍSTICAS DE RECONSTITUCIÓN DE UNA LECHE ENTERA EN POLVO DETERMINAN EN BUENA PARTE SU ACEPTACIÓN POR EL CONSUMIDOR, PERO JUNTO A DICHAS PROPIEDADES DEL ALIMENTO SE HACE INDISPENSABLE QUE ESTE PRESENTE ADEMÁS ADECUADAS CARACTERÍSTICAS ORGANOLÉPTICAS COMO SON:

- A) COLOR: QUE DEBE SER BLANCO/CREMA SIN PARTÍCULAS QUE EVIDENCIEN DETERIORO DURANTE EL PROCESAMIENTO O EL ALMACENAMIENTO.
- B) SABOR: DEBERÁ SER EL CARACTERÍSTICO DE LA LECHE, LO MÁS PARECIDO AL PRODUCTO FRESCO Y SIN TRAZAS DE SABORES ORIGINADOS EN EL DETERIORO TÉRMICO, QUÍMICO O MICROBIANO DEL PRODUCTO O BIEN CAUSADOS POR LA PRESENCIA DE COMPUESTOS AJENOS A LA LECHE ENTERA, COMO LO ES LA GRASA VEGETAL.
- C) ASPECTO GENERAL EN EL ENVASE: EL POLVO DEBERÁ TENER A LA VISTA UN TAMAÑO HOMOGÉNEO, SIN GRUMOS NI APELMAZAMIENTOS; EL VOLUMEN OCUPADO EN EL ENVASE NO DEBE DISMINUIR DURANTE EL ALMACENAMIENTO Y DEBERÁ TENER EL ALIMENTO UNA ADECUADA PROTECCIÓN CONTRA LA LUZ, HUMEDAD Y PRESENCIA DE OXÍGENO POR PARTE DEL ENVASE.
- D) CARACTERÍSTICAS DEL PRODUCTO REHIDRATADO: LA LECHE DEBERÁ PRESENTAR UN ASPECTO SIMILAR AL DEL PRODUCTO FRESCO Y TENER LA ESTABILIDAD NECESARIA PARA EVITAR LA SEPARACIÓN DE FASES AÚN A TEMPERATURAS DE REFRIGERACIÓN.

LA LECHE "DAREL" (QUE ES LA MARCA MANEJADA POR LA INDUSTRIA) TIENE MUY BUEN SABOR Y COLOR SIN EMBARGO, SON DEFICIENTES EL ASPECTO GENERAL EN EL ENVASE Y LA ESTABILIDAD DEL PRODUCTO REHIDRATADO

---ADEMÁS DE LAS PROPIEDADES DE RECONSTITUCIÓN DEL POLVO, SIENDO ESPECÍFICAMENTE SOBRE ÉSTAS ÚLTIMAS QUE SE ENFOCA LA ATENCIÓN EN EL DESARROLLO DE ESTA TESIS, AUNQUE NO SE DESCARTA QUE DE ENCON-- TRARSE UNA SOLUCIÓN A ÉSTE PROBLEMA SE INCIDA FAVORABLEMENTE EN EL RESTO DE LAS CUALIDADES DEL ALIMENTO.

EN ESTE ESTUDIO, SE PARTIÓ DE LECHE SECA EN LAS CONDICIO-- NES NORMALES DE OPERACIÓN DE LA PLANTA INDUSTRIAL OBTENIDA MEDIAN TE UN MUESTREO AL AZAR DEL PRODUCTO TERMINADO, CON EL FIN DE ESTAB-- BLECER LAS VARIABLES TÉCNICAS QUE INFLUYEN DIRECTAMENTE EN LAS PROPIEDADES DE REHIDRATACIÓN DE ÉSTE PRODUCTO Y TRATAR DE MEJORAR SUS CUALIDADES DE RECONSTITUCIÓN POR MEDIO DE UN PROCESO DE INS-- TANTANIZACIÓN ADAPTADO A LAS CONDICIONES PARTICULARES REQUERIDAS POR LAS MUESTRAS EN CUESTIÓN.

## O B J E T I V O S

A CONTINUACIÓN SE PLANTEAN LOS OBJETIVOS DEL PRESENTE ESTUDIO:

**OBJETIVO GENERAL:** EVALUAR LA FACTIBILIDAD TÉCNICA DE INSTANTANIZAR LECHE ENTERA EN POLVO PREVIAMENTE PROCESADA, POR MEDIO DE UN PROCESO FÍSICO DE AGLOMERACIÓN Y SECADO POR FLUIDIZACIÓN.

### OBJETIVOS PARTICULARES:

- 1.- ANALIZAR LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN DURANTE EL SECADO DE LA LECHE EN LA PLANTA INDUSTRIAL A FIN DE DETERMINAR LAS CAUSAS POSIBLES DEL PROBLEMA CON SU HIDRATACIÓN.
- 2.- DETERMINAR LAS VARIABLES DE OPERACIÓN EN UN PROCESO MODIFICADO DE INSTANTANIZACIÓN QUE PROMUEVAN LA RECONSTITUCIÓN DE LA LECHE PREVIAMENTE PROCESADA.
- 3.- EVALUAR LOS RESULTADOS EXPERIMENTALES PARA ESTABLECER LOS PARÁMETROS DETERMINANTES EN LA RECONSTITUCIÓN DEL PRODUCTO Y HACER LAS CONSIDERACIONES QUE PERMITAN ADAPTAR LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN INDUSTRIAL A DICHSO PARÁMETROS.



## CAPITULO I ANTECEDENTES GENERALES DEL DESARROLLO

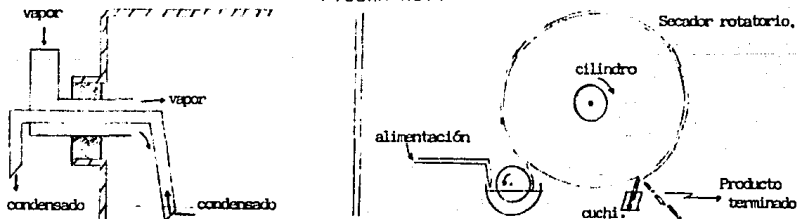
A FIN DE DAR CUMPLIMIENTO A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS PARA EL PRESENTE ESTUDIO, SE PRESENTAN A CONTINUACIÓN LOS ANTECEDENTES TÉCNICOS Y CIENTÍFICOS DEL PROCESO DE SECADO E INSTANTANIZACIÓN DE LA LECHE ENTERA, MISMOS QUE SE TRATARÁN EN TRES PARTES EN LAS QUE SE DESARROLLA LO REFERENTE AL MECANISMO DE SECADO POR ASPERSIÓN DE ESTE ALIMENTO POR SER ESTE EL MÁS COMUNMENTE EMPLEADO Y POR LA IMPORTANCIA QUE REVISTE DESDE EL PUNTO DE VISTA DE LAS CUALIDADES FINALES DEL PRODUCTO EN CUANTO A SU RECONSTITUCIÓN; EN UNA SEGUNDA PARTE SE TRATARÁN LOS PUNTOS RELEVANTES DEL PROCESO DE INSTANTANIZACIÓN EN SÍ, MIENTRAS QUE EN LA TERCERA, SE DESTACARÁ LA IMPORTANCIA DE LOS POSIBLES DAÑOS TÉRMICOS AL PRODUCTO IGUALMENTE DESDE UN ÁNGULO DE LAS CUALIDADES DE REHIDRATACIÓN DEL POLVO.

### 1.1 ASPECTOS GENERALES DEL SECADO POR ASPERSIÓN.

EXISTEN TRES FORMAS PRINCIPALES PARA DESHIDRATAR LECHE ENTERA, QUE SON:

A) SECADO EN CILINDROS ROTATORIOS: ESTE TIPO DE SECADOR ES DE LO MAS ANTIGUOS Y ACTUALMENTE SU USO EN LA RAMA DE LÁCTEOS SE LIMITA A LA ELABORACIÓN DE POLVO PARA LA MANUFACTURA DE CHOCOLATE O BIEN A LA FABRICACIÓN DE ALIMENTOS BALANCEADOS PARA ANIMALES, PUES A PESAR DE SER ECONÓMICO Y DE FUNCIONAMIENTO SIMPLE TIENE LA DESVENTAJA DE CAUSAR DAÑOS EVIDENTES POR TRATAMIENTO TÉRMICO AL ALIMENTO DADAS SUS CARACTERÍSTICAS DE OPERAR POR CONTACTO DIRECTO

FIGURA NO. 1



DE UNA SUPERFICIE CALIENTE CON EL ALIMENTO A PRESIÓN NO REDUCIDA Y, POR LO TANTO, A TEMPERATURAS ELEVADAS POR TIEMPOS RELATIVAMENTE LARGOS. LA FIGURA NO. 1 ESQUEMATIZA UN SECADOR DE ESTE TIPO. A CONTINUACIÓN, SE PROPORCIONAN ALGUNOS VALORES PROMEDIO EN CUANTO A DIMENSIONES, CONSUMO ENERGÉTICO Y VARIABLES DE OPERACIÓN DE ESTE TIPO DE EQUIPOS (1):

- DIAMETRO DEL CILINDRO: 500 A 1500 MM.
- LARGO DEL CILINDRO: 1000 A 3000 MM.
- MATERIALES DE CONSTRUCCION: ACERO CROMADO, ALEACION CROMO/NIQUEL, ALEACION CROMO/NIQUEL/ACERO.
- ESPESOR DE LA PARED DEL CILINDRO: 20 A 40 MM.
- ESPESOR DE LA PELICULA DE LECHE: 0.1 A 0.5 MM.
- VELOCIDAD DEL CILINDRO: 5 A 30 R.P.M.
- TEMPERATURA DEL VAPOR: 120 A 165 CC.
- PRESION DEL VAPOR: 2 A 7 BAR.
- CONSUMO ESPECIFICO DE ENERGIA: 3000 A 3500 KJ/KGH20.
- EVAPORACION ESPECIFICA DE AGUA: 10 A 30 KG/M2H.

EL FUNCIONAMIENTO ES EL SIGUIENTE: LA LECHE A SECAR ES PUESTA EN CONTACTO CON EL CILINDRO CALIENTE POR MEDIO DE OTRO MAS PEQUEÑO INMERSO EN EL LIQUIDO, O BIEN, POR UN MECANISMO QUE LA HAGA DISTRIBUIRSE SOBRE ESTE SALPICÁNDOLA O SUMERGIENDO UNA PEQUEÑA SECCION DE ARCO DEL CILINDRO EN LA LECHE. EL PRODUCTO SE SECA MIENTRAS QUE EL CILINDRO GIRA HASTA CASI COMPLETAR UNA VUELTA DE DONDE ES DESPRENDIDO DE LA SUPERFICIE DE ESTE POR MEDIO DE CUCHILLAS QUE HACEN PRESION SOBRE EL CILINDRO EN UN ANGULO DE 15 A 30° SIENDO IMPORTANTE QUE EXISTA UN BUEN AJUSTE DE LA CUCHILLA SOBRE LA SUPERFICIE DE SECADO PARA EVITAR QUE UNA PARTE DEL PRODUCTO SE QUEME POR NO SER ELIMINADA A TIEMPO. DURANTE LA REVISION DE LOS ASPECTOS TEORICOS MÁS IMPORTANTES EN EL SECADO DE LECHE Y EN LA PARTE EN QUE SE DESCRIBEN LOS DAÑOS TÉRMICOS A QUE ES SUCEPTIBLE ESTE ALIMENTO, SE ENCUENTRAN LAS RAZONES DETALLADAS DE LAS DESVENTAJAS QUE IMPLICA EL USO DE ESTOS EQUIPOS EN COMPARACION CON EL

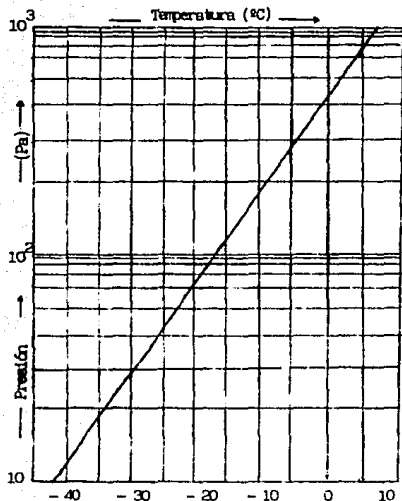
SECADO POR ASPERSION.

B) SECADO POR LIOFILIZACION: POR MEDIO DE ESTA TÉCNICA SE REALIZA LA ELIMINACION DE AGUA DEL PRODUCTO POR SUBLIMACION ESTANDO EL ALIMENTO CONGELADO Y DONDE EL AGUA SE EVAPORA A PARTIR DEL HIELO SIN PASAR POR EL ESTADO LIQUIDO. LAS CONDICIONES DE SUBLIMACION DEL AGUA EN ESTADO PURO EXISTEN POR DEBAJO DEL LLAMADO PUNTO TRIPLE DE LA MISMA (T:0.0098°C Y P:610.8 PA) EN EL QUE LOS TRES ESTADOS DE LA MATERIA PUEDEN EXISTIR AL MISMO TIEMPO. EL PROCESO DE LIOFILIZACION SE REALIZA SIEMPRE EN CONDICIONES DE VACIO MIENTRAS QUE LA TEMPERATURA ESTÁ DETERMINADA POR LA PRESION, TAL COMO SE MUESTRA EN LA FIGURA NO.2.

DADO QUE LA LECHE CONTIENE DIVERSAS SUSTANCIAS EN SOLUCION COMO SON LOS CARBOHIDRATOS Y MINERALES QUE REDUCEN LA TEMPERATURA DE CONGELACION DEL ALIMENTO EN RELACION AL PUNTO DE CONGELACION DEL AGUA PURA, SE DESPRENDE QUE LA SUBLIMACION SÓLO PUEDE OCURRIR POR DEBAJO DEL PUNTO EUTÉCTICO QUE ES AQUELLA TEMPERATURA MÁS BAJA A LA CUAL PUEDE SER ABATIDO EL PUNTO DE CONGELACION (11).

LA GRAN VENTAJA DE ESTE MÉTODO DE SECADO RESIDE EN LA CASI -

FIGURA NO.2



Temperatura vs. presión de vapor en hielo puro

CONSERVACIÓN CONTROLADA DE LA LECHE EN CHAROLAS ESPECIALES Y EN FORMA DE DELGADAS CAPAS POR DIVERSOS MECANISMOS POSIBLES SIENDO LOS MAS COMUNES EL USO DE AIRE CON CIRCULACIÓN FORZADA EN TÚNELES, CONGELACIÓN POR ASPERSIÓN, CONGELACIÓN POR CONTACTO EN PLACAS O CONGELACIÓN POR CONTACTO CON CILINDROS GIRATORIOS. EL USO DE LA CONGELACIÓN CRIOGÉNICA CON FLUIDOS COMO EL CO<sub>2</sub> Y EL NITRÓGENO LÍQUIDO ES MUY RECOMENDABLE PARA EVITAR LA FORMACIÓN DE CRISTALES GRANDES DE HIELO QUE SI BIEN PRÁCTICAMENTE NO DAÑAN A UN ALIMENTO LÍQUIDO, SÍ PROPICIAN EN CAMBIO QUE EL ESPACIO ENTRE ELLOS SEA TAN PEQUEÑO COMO LA SALIDA DE VAPOR DE LAS ZONAS INTERNAS SE DIFICULTE.

UNA VEZ CONGELADO, EL PRODUCTO ENTRA EN CÁMARAS DONDE SE CONTROLAN CON PRECISIÓN LA TEMPERATURA Y LA PRESIÓN DURANTE LA SUBLIMACIÓN POR MEDIO DE UN CALENTAMIENTO REGULADO DE LAS CHAROLAS Y DONDE LA CONDENSACIÓN SÚBITA DEL VAPOR ELIMINADO ACTÚA COMO BOMBA DE VACÍO. EL VAPOR INCONDENSABLE POR LOS SERPENTINES ES RETIRADO MEDIANTE BOMBAS MECÁNICAS EN SERIE.

AL TERMINAR LA ELIMINACIÓN DEL AGUA SE DETIENE EL PROCESO MEDIANTE EL ROMPIMIENTO DEL VACÍO Y EL PRODUCTO ES CUIDADOSAMENTE

-TOTAL CONSERVACIÓN DE LA ESTRUCTURA MOLECULAR DE LOS COMPONENTES DEL ALIMENTO ASÍ COMO EN LA PRESERVACIÓN DEL COLOR, EL CONTENIDO VITAMÍNICO, EL DE AMINOÁCIDOS, DEL SABOR Y DE EL OLOR DEL PRODUCTO.

DESDE EL PUNTO DE VISTA DE LA RECONSTITUCIÓN, LA SUBLIMACIÓN DEL AGUA DEL ALIMENTO CONGELADO DA COMO RESULTADO UN PRODUCTO CON UNA ESTRUCTURA ALTAMENTE POROSA QUE SE RECONSTITUYE RÁPIDAMENTE AL CONTACTO CON EL AGUA; ADEMÁS, LAS BAJAS TEMPERATURAS DE PROCESO INHIBEN POSIBLES REACCIONES DE DETERIORO DE LOS COMPONENTES DE LA LECHE EXISTIENDO TAMBIÉN LA CIRCUNSTANCIA DE QUE EL TIEMPO DE RESIDENCIA DEL PRODUCTO A HUMEDAD CONSIDERADAS CRÍTICAS PARA EL FAVORECIMIENTO DEL DAÑO QUÍMICO ES MUY CORTO.

DE MANERA MUY RESUMIDA, EL PROCESO CONSISTE EN UNA CONGELACIÓN

-TAMIZADO Y -SI LO AMERITA- REDUCIDO DE TAMAÑO EN MOLINOS ESPECIALES PARA SER POSTERIORMENTE ENVASADO EN UNA ATMÓSFERA INERTE O EN VACÍO.

LA GRAN DESVENTAJA DE ESTE MÉTODO DE SECADO QUE HACE QUE EN MÉXICO SEA DESCARTADO POR COMPLETO COMO PROCEDIMIENTO INDUSTRIAL RESIDE EN LOS ELEVADOS COSTOS DE OPERACIÓN Y LA INVERSIÓN INICIAL REQUERIDA; ASÍ, ÚNICAMENTE SE EMPLEA A ESCALA INDUSTRIAL EN PAÍSES ALTAMENTE DESARROLLADOS Y EN EL SECADO DE PRODUCTOS QUE ALTAMENTE REDITUABLES EN ESOS LUGARES COMO SON EL CAFÉ, TÉ, FRUTAS, DERIVADOS DE LA LECHE, HUEVO, ETC.

C) SECADO POR ASPERSIÓN: ESTE ES EL TERCERO Y MÁS EXTENDIDO DE LOS METODOS SUCEPTIBLES DE EMPLEARSE EN LA DESHIDRATACIÓN DE LECHE ENTERA, AL GRADO DE QUE ES POSIBLE AFIRMAR QUE PRÁCTICAMENTE LA TOTALIDAD DE LA LECHE PRODUCIDA EN MÉXICO SE OBTIENE POR ESTE MEDIO. ANTES DE PASAR A REVISAR LO REFERENTE A LOS ASPECTOS DE OPERACIÓN DE ÉSTOS EQUIPOS SE HARÁ UNA SÍNTESIS DE LA TEORÍA DEL SECADO ENFOCADA HACIA EL PRODUCTO Y EL MÉTODO EN ESTUDIO HACIENDO ÉNFASIS EN LOS PUNTOS QUE DESTAQUEN POR SU INFLUENCIA EN LAS CUALIDADES INSTANTANEAS DEL POLVO OBTENIDO.

### 1.1.1 TEORÍA DEL SECADO.

SE PUEDE DEFINIR AL PROCESO DE SECADO COMO LA ELIMINACIÓN MEDIANTE UN TRATAMIENTO TÉRMICO, DE UNA DETERMINADA CANTIDAD DE AGUA DE UN PRODUCTO DE TAL FORMA QUE LA ACTIVIDAD DE AGUA (AW) EN EL PRODUCTO FINAL SE MANTENGA DENTRO DE LOS NIVELES ADECUADOS QUE FAVOREZCAN LA CONSERVACIÓN AL MÁXIMO POSIBLE, DE LAS CUALIDADES DE LA MATERIA PRIMA POR UN TIEMPO DETERMINADO.

EL TÉRMINO ACTIVIDAD DE AGUA SE USA PARA DENOMINAR LA RELACIÓN ENTRE LA PRESIÓN REDUCIDA DE VAPOR DEL AGUA LIGADA Y LA PRESIÓN DE VAPOR DEL AGUA LIBRE EN UN ALIMENTO. SE DENOMINA AGUA LIGADA A AQUELLA FRACCIÓN DE LA HUMEDAD TOTAL DE UN PRODUCTO QUE SE ENCUENTRA EN INTERACCIÓN CON LAS MOLÉCULAS QUE COMPONEN LA MUESTRA POR MEDIO DE FUERZAS DIVERSAS DE ATRACCIÓN FÍSICA O QUÍMICA, COMO INTERACCIONES IÓNICAS, DIPOLARES, PUENTES DE HIDRÓGENO, ETC; POR OTRO LADO, SE LLAMA AGUA LIBRE A LA FRACCIÓN RESTANTE DE HUMEDAD QUE NO SE ENCUENTRA UNIDA POR ESTE TIPO DE INTERACCIONES SINÓ QUE SE HALLA OCLUIDA EN CONDUCTOS CAPILARES O ATRAPADA EN LA ESTRUCTURA DEL ALIMENTO (6).

EN LA ZONA INMEDIATA A LA INTERFASE ENTRE EL AGUA LIBRE DE UN ALIMENTO Y EL AIRE QUE LO RODEA DURANTE UN PROCESO DE SECADO, LA PRESIÓN DE VAPOR EN EL EQUILIBRIO ES LA PRESIÓN DE SATURACIÓN DE VAPOR (PV") (1). LOS ALIMENTOS CON ALTO CONTENIDO DE HUMEDAD COMO LA LECHE (87% PROMEDIO EN PESO) TIENEN UNA PRESIÓN DE VAPOR EN LA INTERFASE CASI IGUAL A LA PRESIÓN DE SATURACIÓN DEL AIRE LO

CUAL SE VE FAVORECIDO POR EL HECHO DE QUE SÓLO UNA REDUCIDA FRACCIÓN DEL AGUA PRESENTE EN EL ALIMENTO SE HALLA EN FORMA LIGADA.

A MEDIDA QUE LA CONCENTRACIÓN DE SÓLIDOS TOTALES SE VA INCREMENTANDO COMO CONSECUENCIA DE LA REMOCIÓN DEL AGUA QUE LOS MANTIENE DISPERSOS SE PRODUCE UNA CAÍDA EN LA PRESIÓN DE VAPOR DEBIDA A FUERZAS OSMÓTICAS QUE HACEN CADA VEZ MAS DIFÍCIL LA SALIDA DEL AGUA (11) Y SI SE CONTINÚA ELIMINÁNDOLA DEL PRODUCTO SE LLEGA A UN MOMENTO EN QUE LA SUPERFICIE DEL MISMO APARECE SECA; EL AGUA SE ENCUENTRA EN ESE INSTANTE EN PEQUEÑOS CAPILARES, ENTRE PARTÍCULAS SÓLIDAS PEQUEÑAS, ENTRE GRANDES MACROMOLECULAS O EN FORMA LIGADA. ESTO CAUSA LA DISMINUCIÓN EN LA PRESIÓN DE VAPOR EN EL ALIMENTO DE TAL MANERA QUE ÉSTA SÓLO PUEDE ESTAR EN EQUILIBRIO CON UNA ATMÓSFERA EXTERNA EN LA QUE LA PRESIÓN DE VAPOR SE HALLA TAMBIÉN CONSIDERABLEMENTE DISMINUÍDA Y SE DICE QUE EL PRODUCTO ESTÁ SECO EN ESE MOMENTO.

CON LA HUMEDAD FINAL QUE SE ALCANZA EN LOS PRODUCTOS SECOS NO EXISTE EN TEORÍA UN AV PROPIO PARA EL CRECIMIENTO DE NINGÚN MICROORGANISMO; EN EL CASO DE LA LECHE EN POLVO, AÚN LOS HONGOS XERÓFILOS DETIENEN SU CRECIMIENTO Y LA GRAN MAYORÍA DE LAS ENZIMAS SE MUESTRAN INACTIVAS (CON EXCEPCIÓN DE CIERTAS LIPÓXIDASAS Y FOSFOLIPASAS QUE PUEDEN PRESENTAR ACTIVIDAD CON AW'S TAN BAJOS COMO 20% (9). LO QUE HACE DEL SECADO UN MÉTODO EFECTIVO DE CONSERVACIÓN DE LA LECHE QUE SE UTILIZA TAMBIÉN PARA PRESERVAR DERIVADOS DE LA MISMA COMO EL SUERO, CREMA Y YOGHURT (10).

GAL (12) DEMOSTRÓ QUE ES CORRECTO SUPONER UN COMPORTAMIENTO DE GAS IDEAL PARA EL VAPOR EN LA ZONA DE LA INTERFASE DE SECADO POR LO QUE EL AW PUEDE CONOCERSE DETERMINANDO LA HUMEDAD RELATIVA DEL AIRE EN LA ZONA DE EQUILIBRIO:

$$(aw)@T = HR \cdot P_v / P_v^* - 1$$

DONDE  $P_v$  ES LA PRESIÓN PARCIAL DE VAPOR EN EL AIRE Y  $P_v^*$  ES LA PRESIÓN DE SATURACIÓN A UNA TEMPERATURA "T" DETERMINADA.

PARA EVITAR DETERIORO DEL PRODUCTO DURANTE EL ALMACENAMIENTO ES NECESARIO TENER UN BUEN CONTROL DE LAS CONDICIONES DEL SECADO, Y ADEMÁS EN ALIMENTOS COMO LA LECHE EL PROCESO DEBE TENER LA CARACTERÍSTICA PRINCIPAL DE MANEJAR TIEMPOS CORTOS DE RESIDENCIA A TEMPERATURAS QUE ASEGUREN ALTA VELOCIDAD DE TRANSFERENCIA DE MASA Y CALOR (1) LO CUAL SE LOGRA CON EL SECADO POR ASPERSIÓN. TAMBIÉN HAY QUE DESTACAR AQUÍ QUE MUCHO DEPENDEN LAS PROPIEDADES DE REHIDRATACIÓN DEL POLVO DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL SECADO DEL ALIMENTO Y NO SOLAMENTE DE LOS TRATAMIENTOS POSTERIORES TAL COMO SE VERÁ MAS ADELANTE.

EXISTEN DIFERENTES ECUACIONES TEÓRICAS PARA LA DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE SECADO DE UNA GOTTA HACIENDO DIVERSAS CONSIDERACIONES COMO QUE EL VOLUMEN DEL LÍQUIDO PERDIDO ES IGUAL AL VOLUMEN

-DE LA CONTRACCIÓN QUE REGISTRA LA PARTÍCULA AL SECARSE, QUE TODA LA EVAPORACIÓN SE REGISTRA DESDE LA SUPERFICIE DE LA GOTA, QUE LAS PERDIDAS DE CALOR POR LAS PAREDES DEL EQUIPO SON DESPRECIABLES Y QUE TODAS LAS GOTAS FORMADAS SON DEL MISMO TAMAÑO (4). LA ECUACIÓN 2 ES DEL TIPO MENCIONADO:

$$T = H \cdot CP \cdot \left( \frac{DPA^2 - DPW^2}{8K} \right) \cdot \frac{1}{\Delta X} \cdot EC \cdot 2$$

DONDE: T: TIEMPO DE SECADO; H: COEFICIENTE CONVECTIVO DEL AIRE DE SECADO; CP: CAPACIDAD CALORÍFICA PROMEDIO DEL PRODUCTO;  $\Delta$ : DENSIDAD DEL AGUA A LA TEMP. DE EBULLICIÓN; DPA: DIÁMETRO INICIAL DE LA PARTÍCULA; DPW: DIÁMETRO FINAL; K: CONDUCTIVIDAD TÉRMICA PROMEDIO DEL SÓLIDO;  $\Delta X$ : GRADIENTE MEDIO DE HUMEDAD.

ESTE TIPO DE RELACIONES, COMO SE VERA A CONTINUACIÓN, SOLO SON APLICABLES EN AQUELLOS CASOS QUE SE AJUSTAN A LAS CONSIDERACIONES HECHAS Y COMO UNA GUÍA PARA EL DISEÑO DE EQUIPOS PERO NO COMO UNA DESCRIPCIÓN REAL DEL FENÓMENO DADA LA COMPLEJIDAD DE LOS CAMBIOS QUE OCURREN DURANTE EL SECADO POR ASPERSIÓN.

EXISTEN DIVERSAS SUPOSICIONES ACERCA DEL MECANISMO DE TRANSFERENCIA DE MASA SEGUIDO POR UN LÍQUIDO SECADO POR ASPERSIÓN ENTRE LAS QUE SE PUEDE MENCIONAR EL MOVIMIENTO DEL AGUA HACIA EL EXTERIOR DE LA GOTA PROVOCADO POR FUERZAS DE CAPILARIDAD, LA DIFUSIÓN POR GRADIENTES DE CONCENTRACIÓN DE SÓLIDOS Y EL FLUJO DE VAPOR POR DIFERENCIA DE PRESIONES TOTALES (13) AUNQUE TODAS ELLAS SE PUEDEN AGRUPAR EN UNA TEORÍA DE TRANSFERENCIA SIMULTÁNEA DE CALOR Y MASA QUE RECOGE LOS ASPECTOS MÁS IMPORTANTES DE CADA UNA PARA APLICAR EN FORMA GENERAL EL MECANISMO DE DESHIDRATACIÓN.

LOS MECANISMOS PROPUESTOS MENCIONADOS OPERAN EN FORMA SINTÉTICA DE LA SIGUIENTE FORMA: LA DIFUSIÓN POR FUERZAS DE CAPILARIDAD IMPLICA LA FORMACIÓN DE UNA ESTRUCTURA INTERNA EN LA GOTA UNA VEZ QUE SE HA ELIMINADO LA HUMEDAD SUPERFICIAL, EN LA CUAL EL AGUA LÍQUIDA VIAJA A LA SUPERFICIE ATRAVÉS DEL INTERIOR DE LA PARTÍCULA; LA DIFUSIÓN POR GRADIENTES DE CONCENTRACIÓN SE REFIERE A LA MIGRACIÓN DE COMPUESTOS SOLUBLES DESDE EL INTERIOR QUE, AL EVAPORARSE EL AGUA QUE LOS LLEVÓ HASTA LA SUPERFICIE, SE VAN CONCENTRANDO EN EL EXTERIOR DE LA PARTÍCULA PROPICIANDO LA PRESENCIA DE GRADIENTES CADA VEZ MAYORES DE SOLUTOS QUE FORZAN AL AGUA A IR AL EXTERIOR. EL FLUJO DE VAPOR POR DIFERENCIA DE PRESIONES TOTALES ES POSIBLEMENTE EL MECANISMO QUE, EN EL CASO DEL SECADO POR ASPERSIÓN, CONTRIBUYA EN MAYOR MEDIDA A LA TRANSFERENCIA DE MASA DEBIDO A LAS CARACTERÍSTICAS DE ESPESOR RELATIVAMENTE PEQUEÑO DEL SÓLIDO Y EL GRADIENTE ELEVADO DE TEMPERATURAS Y CONSISTE EN QUE, DADA LA RAPIDEZ DE LA TRANSFERENCIA DE ENERGÍA POR CONVECCIÓN Y CONDUCCIÓN HACIA EL INTERIOR DE LA GOTA EXISTE UNA EVAPORACIÓN DEL AGUA DEL CENTRO DE LA GOTA A UNA VELOCIDAD SUPERIOR A LA DE LA ELIMINACIÓN DE LA HUMEDAD DE LA SUPERFICIE LO QUE PROVOCA UN GRADIENTE DE PRESIONES QUE LIBERA LA HUMEDAD EN FORMA DE VAPOR ATRAVÉS DE CAPILARES E INCLUSIVE, CUANDO ELLO NO ES SUFICIENTE, HACIENDO

-ESTALLAR LA PARTÍCULA PARA LIBERAR LA PRESIÓN INTERNA. UN CUARTO MECANISMO POSIBLE QUE NO SE MENCIONÓ SE REFIERE A LA DIFUSIÓN DE LÍQUIDO POR GRADIENTES DE PRESIÓN ATRAVÉS DE SUPERFICIES POROSAS Y SE DEBE A LA DIFERENCIA ENTRE LA PRESIÓN INTERNA Y LA EXTERNA QUE CAUSA EL ENCOGIMIENTO DE LA PARTÍCULA DEBIDO A LA PÉRDIDA DE MASA QUE "EXPRIME" AL SÓLIDO FORZANDO AL AGUA HACIA LA SUPERFICIE (3).

COMO SE HA DICHO, EN LA REALIDAD SE TRATA DE UNA COMBINACIÓN DE ESTOS MECANISMOS LO QUE ORIGINA EL SECADO DEL SÓLIDO, CON PREPONDERANCIA DE UNO U OTRO DEPENDIENDO DEL MÉTODO Y LAS CONDICIONES DE PROCESO. EN LA FIGURA NO.3 SE HA ESQUEMATIZADO EL COMPORTAMIENTO DE LAS VARIABLES DE HUMEDAD EN BASE SECA DEL PRODUCTO ( $x$ ), EL TIEMPO ( $t$ ), Y EL GROSOR DEL SÓLIDO A LO LARGO DEL PROCESO, QUE EN GENERAL, SE DIVIDE EN TRES FASES PARA SU ESTUDIO; ESTAS FASES SE HALLAN REPRESENTADAS EN LA FIGURA NO.4 (6) EN UNA CURVA DE VELOCIDAD DE SECADO ( $N$  [:]  $\text{KGH}_2\text{O}/\text{M}^2.\text{SEG}$ ) CONTRA HUMEDAD DEL PRODUCTO ( $x$  [:]  $\text{KGH}_2\text{O}/\text{KGSÓLIDO SECO}$ ); A CONTINUACIÓN SE EXPLICA EN QUÉ CONSISTEN DICHAS FASES.

FIGURA NO.3

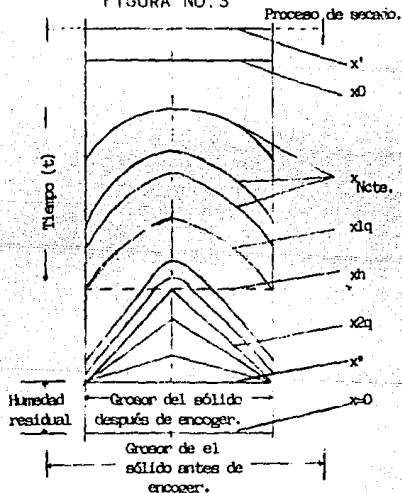
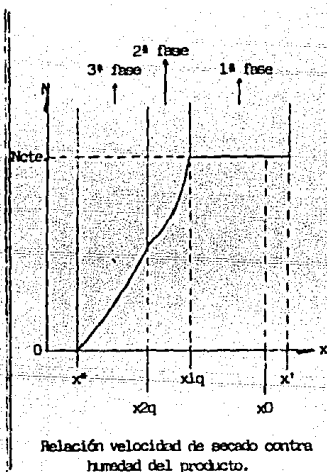


FIGURA NO.4



-1A. FASE DE SECADO: DURANTE ESTA FASE, LA VELOCIDAD DE SECADO ES CONSTANTE; LA SUPERFICIE DEL PRODUCTO APARECE HÚMEDA Y SE ESTA ELIMINANDO AGUA LIBRE POR EVAPORACIÓN DE ÉSTA DESDE LA SUPERFICIE DE LA GOTA HACIA EL AIRE DE SECADO, SIENDO POSIBLE APLICAR LAS E-

### CUACIONES TEORICAS DE TRANSFERENCIA DE CALOR Y MASA (3).

SI SE PARTE DE UN CONTENIDO DE HUMEDAD  $X^*$  EN LA GOTA DE LECHE SE PERDERA HUMEDAD DESDE LA SUPERFICIE DE LA MISMA HASTA UN VALOR  $X_0$ , SUFRIENDO EL PRODUCTO UN ENCOGIMIENTO POR EFECTO DE LA PERDIDA DE MASA. HASTA ESTE PUNTO ES POSIBLE ESPERAR EL FUNCIONAMIENTO DE LOS MECANISMOS DE TRANSFERENCIA DE MASA POR GRADIENTES DE CONCENTRACION (DIFUSION) Y EL INICIO DE LOS GRADIENTES DE PRESION POR ENCOGIMIENTO. LOS CUALES VAN CONFORMANDO LA ESTRUCTURA DE LA PARTICULA A OBTENERSE AL FINAL DEL SECADO Y QUE COMO SE DISCUTIRA EN EL ANALISIS DE RESULTADOS DE ESTE ESTUDIO, ES UNA VARIABLE DETERMINANTE PARA LA RECONSTITUCION DEL POLVO.

UNA VEZ ALCANZADA LA HUMEDAD  $X_0$  YA NO EXISTE ENCOGIMIENTO PUES EN EL INTERIOR DE LA GOTA SE HA FORMADO UNA ESTRUCTURA SOLIDA QUE COMO SE MENCIONO, ES FUNDAMENTAL DURANTE LA REABSORCION DE AGUA. ESTA ESTRUCTURA SE VE MODIFICADA POR LA AFERACION A PARTIR DE ESTE MOMENTO O INCLUSIVE ANTES (13) DEL MECANISMO DE SALIDA DE EL VAPOR POR DIFERENCIA DE PRESIONES TOTALES QUE PUEDE REDUCIR LOS ESPACIOS LIBRES DEJADOS POR EL MECANISMO DE DIFUSION COMPACTANDO LAS PAREDES (AUN HUMEDAS) POR UN AUMENTO DE VOLUMEN Y CUANDO LA ELASTICIDAD DE LAS MISMAS PERMITE RESISTIR LA PRESION DE SALIDA DEL VAPOR SIN ESTALLAR O DISGREGARSE.

UNA VEZ LIBERADA LA PRESION DEL VAPOR Y HASTA EL FINAL DEL PROCESO DE SECADO LA HUMEDAD SE TRANSFIERE AL EXTERIOR POR FUERTAS CAPILARES ATRAVES DE LA ESTRUCTURA SOLIDA Y DE AQUI LA IMPORTANCIA DE CONTROLAR ADECUADAMENTE LOS MOMENTOS INICIALES DE ESTA PRIMERA FASE PARA PROPICIAR UNA ESTRUCTURA INTERNA POROSA QUE DES DE EL PUNTO DE VISTA DE LAS PROPIEDADES INSTANTANEAS DEL ALIMENTO ES REQUERIDA.

LA CONDICION DE VELOCIDAD CONSTANTE PERMANECE HASTA ALCANZAR UN VALOR CRITICO DONDE LA CURVA  $N$  VS  $X$  PRESENTA UN PRIMER QUIEBRE ( $X_{1Q}$ ) Y SE INICIA LA 2A. FASE DE SECADO QUE COMO SE APRECIA EN LA FIGURA NO.4 ES DE VELOCIDAD DECRECIENTE.

-2A. FASE DE SECADO: PARA ESTA FASE LA VELOCIDAD DE EVAPORACION DE AGUA DESDE LA SUPERFICIE ES MAYOR QUE LA RAPIDEZ CON QUE DIFUNDE LA HUMEDAD DESDE EL INTERIOR DE LA PARTICULA POR LO QUE EMPIEZAN A APARECER ZONAS SECAS EN LA SUPERFICIE. COMO SE VERA EN LA PARTE CORRESPONDIENTE A INSTANTANIZACION, ESTE ES EL MOMENTO EN QUE ES CONVENIENTE PROPICIAR LA AGLOMERACION DEL PRODUCTO DE ACUERDO A CIERTAS TECNICAS PUES LA SUPERFICIE DE LAS PARTICULAS PRESENTA LAS CONDICIONES ADECUADAS. EN ESTA ETAPA Y DEBIDO A LA PERDIDA DE LA MAYOR PARTE DEL AGUA LIBRE DEL ALIMENTO LA TRANSFERENCIA DE CALOR SE REALIZA PRINCIPALMENTE POR CONDUCCION MIENTRAS QUE LA HUMEDAD PASA LENTAMENTE DEL VALOR HIGROSCOPICO MAXIMO ( $X_H$ ) (QUE ES AQUEL EN EL CUAL LA PARTICULA SE HALLA EN EQUILIBRIO A UN



-NA TEMPERATURA DADA CON AIRE SATURADO, HACIA UN NUEVO VALOR CRÍTICO ( $x_2^0$ ); DURANTE ESTA FASE LA TRANSFERENCIA DE CALOR SE DIFICULTA PUES LAS ZONAS POROSAS SECAS DEL INTERIOR DE LA PARTÍCULA QUE YA SE PRESENTA COMO SÓLIDA ACTÚAN DE FORMA SIMILAR A UNA PARED AISLANTE (1).

PUEDA SUCEDER TAMBIÉN EN ÉSTA ETAPA QUE EL PRODUCTO MUESTRE UNA DENSIDAD A GRANDEL RELATIVAMENTE ALTA CON BAJO VOLUMEN DE ESPACIOS VACÍOS O POROS EXCESIVAMENTE PEQUEÑOS EN CUYO CASO, LA VELOCIDAD DE SECADO ESTA DETERMINADA NO TANTO POR LA CONDUCCIÓN TÉRMICA AL INTERIOR COMO POR UNA ALTA RESISTENCIA A LA DIFUSIÓN DE AGUA A TRAVÉS DEL PRODUCTO LO CUAL RETARDA EL PROCESO EXPOSIENDO A LAS FRACCIONES MOLECULARES MAS IMPORTANTES DEL ALIMENTO (CARBOHIDRATOS, PROTEÍNAS Y GRASA PRINCIPALMENTE) A LA ACUMULACIÓN DE ENERGÍA POR LA GRAN CAPACIDAD CALORÍFICA DEL MISMO Y FAVORECIENDO CON ELLO CAMBIOS EN SU ESTRUCTURA QUÍMICA POR LO QUE DE NO EXISTIR UN ADECUADO CONTROL DE LOS TIEMPOS DE RESIDENCIA DEL POLVO SE AFECTARÍA SENSIBLEMENTE LA CAPACIDAD DE DISPERSIÓN DEL MISMO. LA VELOCIDAD EN ESTA SITUACIÓN DE RESISTENCIA PUEDE SER EXPRESADA COMO DIFUSIÓN Y TRANSFERENCIA DE MASA DESDE LA SUPERFICIE DE LA PARTÍCULA POR EVAPORACION EN SERIE (9) TAL COMO:

$$N = (MV/R.T) \{ PV - PVA / (1/H + D \cdot S/D) \} \text{---EC.3}$$

EN LA QUE: MV: MASA MOLECULAR DEL VAPOR DE AGUA; N: VELOCIDAD DE SECADO; R: CTE. UNIVERSAL DE LOS GASES; T: TEMPERATURA ABSOLUTA DE EL AIRE; PV: PRESIÓN DE VAPOR EN EL PRODUCTO; PVA: PRESIÓN DE VAPOR EN EL AIRE; H: COEFICIENTE CONVECTIVO EN LA SUPERFICIE DE LA PARTÍCULA; D: FACTOR DE RESISTENCIA A LA DIFUSIÓN; S: ESPESOR DE LA CAPA SÓLIDA; D: COEFICIENTE DE DIFUSIVIDAD.

EN ESTA 2ª FASE DE SECADO SE ELIMINA GRAN PARTE DE LA HUMEDAD ATRAPADA ENTRE PARTÍCULAS DEL INTERIOR Y ES SEGUIDA POR UNA TERCERA QUE ALGUNOS AUTORES (5),(6) CONSIDERAN UNA EXTENSIÓN DE ESTA MISMA FASE.

- 3ª. FASE DE SECADO: SE CARACTERIZA POR QUE AL PRINCIPIO SE DA EN EL CENTRO DEL PRODUCTO LA HUMEDAD HIGROSCÓPICA MÁXIMA Y POR UNA MAYOR CAÍDA EN LA VELOCIDAD DE SECADO DEBIDA AL CADA VEZ MENOR GRADIENTE DE PRESIONES DE VAPOR (PV-PVA) QUE AL FINAL DEL PROCESO SE IGUALA PRÁCTICAMENTE A CERO ESTABLECIÉNDOSE EL EQUILIBRIO ENTRE LA HUMEDAD EN EL CENTRO DE LA PARTÍCULA Y LA HUMEDAD DEL AIRE QUE LA RODEA ( $x^*$ ).

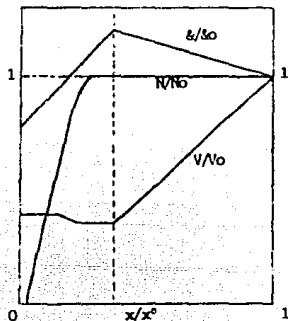
EN LA PRÁCTICA, ALCANZAR EL VALOR DE  $x^*$  NO JUSTIFICA EN LA MAYORÍA DE LOS CASOS EL COSTO QUE ELLO REPRESENTA DADA LA BAJA VELOCIDAD DE SECADO; EN EL CASO ESPECÍFICO DEL SECADO POR ASPERSIÓN DE LECHE, EL POLVO DEBE SALIR DEL EQUIPO CON UN VALOR DE HUMEDAD BASTANTE SUPERIOR A  $x^*$  PARA DAR CABIDA A UN PROCESO DE INSTANTANEA ZACIÓN AUNQUE EN CIERTAS OCASIONES ESTE PROCESO NO EXISTE Y LA LECHE ES LLEVADA A LA HUMEDAD FINAL ÚNICAMENTE POR UN SECADO POSTE-

-RIOR LO QUE PERMITE SU ENVASE EN LAS MEJORES CONDICIONES. DESDE EL PUNTO DE VISTA DE LA INSTANTANIZACIÓN LA HUMEDAD FINAL JUEGA UN IMPORTANTE PAPEL EN EL PROCESO DE AGLOMERACIÓN, TAL COMO SE DETALLARÁ MÁS ADELANTE.

PARA DESCRIBIR EL COMPORTAMIENTO DE UNA GOTA DE LECHE DURANTE EL SECADO EN FORMA DIAGRAMÁTICA, SE PRESENTA LA FIGURA NO. 5 EN LA QUE SE HALLAN GRAFICADOS LOS PARÁMETROS DE VELOCIDAD RELATIVA DE SECADO ( $N/N_0$ ), VOLUMEN RELATIVO DE LA GOTA ( $V/V_0$ ) Y DENSIDAD RELATIVA DE ESTA ( $\rho/\rho_0$ ), REFERIDOS TODOS ELLOS A LAS CONDICIONES INICIALES DE PROCESO (TIEMPO  $T=0$ ).

FIGURA NO. 5

Comportamiento de diversas variables a lo largo del secado.



DE ÉSTA FIGURA SE DEDUCE QUE LA VELOCIDAD DE SECADO PERMANECE CONSTANTE DURANTE LA MAYOR PARTE DEL PROCESO PARA LUEGO DISMINUIR RÁPIDAMENTE HASTA SER CERO CUANDO SE ALCANZA UNA HUMEDAD DEL PRODUCTO CERCANA A CERO ( $x^*$ ), TAL COMO SE OBSERVÓ EN LA FIGURA NO. 4.

LA DENSIDAD SE INCREMENTA INICIALMENTE EN PROPORCIÓN A LA DISMINUCIÓN DE VOLUMEN, ALCANZANDO UN MÁXIMO CUANDO SE HA FORMADO UNA ESTRUCTURA INTERNA SÓLIDA EN LA GOTA Y NO EXISTE ENCOGIMIENTO. A PARTIR DE ESE PUNTO, LA DENSIDAD RELATIVA DISMINUYE COMO CONSECUENCIA DE LA PÉRDIDA DE MASA Y EL AUMENTO DE VOLUMEN POR EFECTO DE LA PRESIÓN INTERNA DEL VAPOR; COMO SE PUEDE APRECIAR POR EL DESPLAZAMIENTO DE LOS PUNTOS CRÍTICOS DE LAS CURVAS DE DENSIDAD Y VOLUMEN.

CON RESPECTO A LA VELOCIDAD RELATIVA, UNA PARTE DE LA HUMEDAD TRANSFERIDA POR FUERZAS CAPILARES DESDE EL INTERIOR A LA SUPERFICIE PASA A UNA FASE GASEOSA EN LA MISMA SUPERFICIE EXTERIOR. TODO LO ANTERIOR VIENE A SER UNA EXPLICACIÓN DEL POR QUÉ DE LA FORMACIÓN DE UNA ESTRUCTURA DETERMINADA DE LA PARTICULA.

### 1.1.2 TECNOLOGÍA DEL SECADO POR ASPERSIÓN.

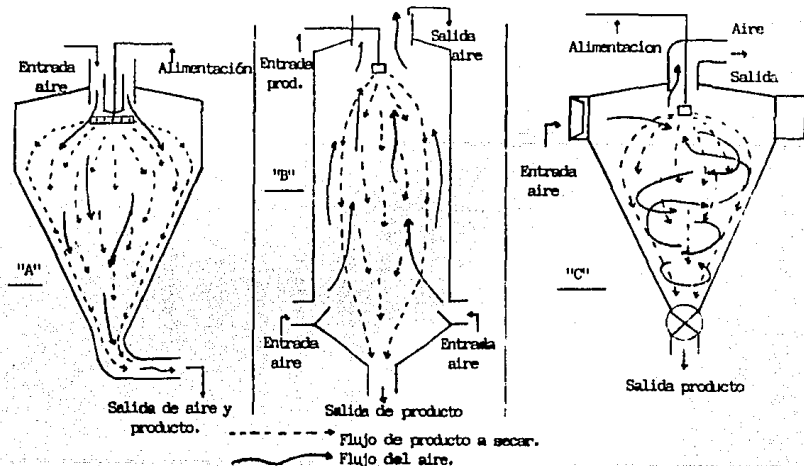
PASANDO AHORA A TRATAR LOS ASPECTOS DE TECNOLOGÍA DEL SECADO POR ASPERSIÓN DE LECHE ENTERA, TENEMOS QUE CON ÉSTE MÉTODO SE INTENTA SECAR EL PRODUCTO LO MÁS RÁPIDAMENTE POSIBLE A LAS TEMPERATURAS MÁS BAJAS QUE ASEGUREN LA VELOCIDAD DEL PROCESO Y MANTENIENDO LAS CONDICIONES DE LA MATERIA PRIMA EN LO POSIBLE, REQUIRIENDOSE PARA ELLO DE UNOS CUANTOS SEGUNDOS ÚNICAMENTE LO CUAL, JUNTO CON LOS ASPECTOS DE ECONOMÍA, VERSATILIDAD EN LA OPERACIÓN Y FACILIDAD DE MANTENIMIENTO, SON RAZONES QUE EXPLICAN EL POR QUÉ DE SU AMPLIA UTILIZACIÓN COMO MÉTODO INDUSTRIAL.

LA EVAPORACIÓN DEL AGUA SE LOGRA ESPREANDO EL LÍQUIDO EN EL INTERIOR DEL EQUIPO CON TAMAÑOS DE GOTA INFERIORES A LAS 300 MICRAS (14) EN UNA CORRIENTE DE AIRE CALIENTE A TEMPERATURAS DEL ORDEN DE 170 A 200 OC CON LO CUAL SE CONSIGUE QUE LA TEMPERATURA EN LA SUPERFICIE DEL LÍQUIDO OSCILE ENTRE 40 Y 50 OC (!) EVITANDO LA DEGRADACIÓN TÉRMICA DEL ALIMENTO. UNA VEZ SECAS, LAS PARTÍCULAS ALCANZAN COMO MÁXIMO LA TEMPERATURA DEL AIRE DE SALIDA, DE DONDE SE DEDUCE LA IMPORTANCIA DE ESTA VARIABLE DE OPERACIÓN PARA EL MANTENIMIENTO DE LA HABILIDAD DE ABSORBER AGUA POR PARTE DE COMPUESTOS LÁBILES COMO LAS PROTEÍNAS EN EL PRODUCTO FINAL.

EL PROCESO COMPLETO SE LLEVA A CABO DENTRO DEL MISMO EQUIPO, CON LAS VARIANTES POSIBLES QUE A CONTINUACIÓN SE DESCRIBEN:

A) CIRCULACIÓN DEL AIRE Y EL PRODUCTO DENTRO DEL SECADOR: EXISTEN TRES TIPOS BÁSICOS DE PATRONES DE CIRCULACIÓN, QUE SE ILUSTRAN EN LA FIGURA NO.6. EL TIPO "A" CORRESPONDE AL FLUJO PARALELO QUE ES EL MAS EXTENDIDO EN EL SECADO DE LECHE Y SUS DERIVADOS YA QUE CON ÉL SE EVITA UNA TRANSFERENCIA DE CALOR DEMASIADO RÁPIDA, QUE COMO SE DISCUTIRÁ EN LA PARTE DE RESULTADOS, ES DE EFECTOS ADVERSOS PARA LA REHIDRATACIÓN DEL POLVO ADEMÁS DE QUE CON ELLO SE ASEGURA UNA DISTRIBUCIÓN DE TAMAÑOS DE PARTÍCULA MÁS UNIFORME PUES NO EXISTE DISGREGACIÓN DEL POLVO COMO EN EL CASO "B", DE CIRCULACIÓN EN CONTRACORRIENTE, EN DONDE EL ALIMENTO YA SECO Y POR TANTO MECÁNICAMENTE MAS FRÁGIL SE ENCUENTRA CON EL AIRE DE ENTRADA A ALTA TEMPERATURA Y VELOCIDAD.

FIGURA NO.6

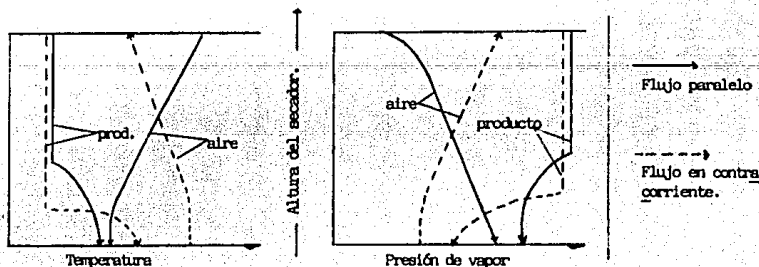


TANTO EN EL CASO "A" COMO EN "B" SE PUEDE -Y EN GENERAL SE PREFIERE- IMPARTIR AL AIRE UN PATRÓN EN ESPIRAL QUE PROPICIE EL A PROVECHAMIENTO DE LA TOTALIDAD DEL DIÁMETRO DEL SECADOR PARA COMPLETAR EL PROCESO EN UNA MENOR ALTURA DE EQUIPO. LA CIRCULACIÓN REPRESENTADA POR EL TIPO "C" SE DENOMINA FLUJO MIXTO PUES EN UN PRIMER RECORRIDO DEL AIRE, ESTE FLUYE PARALELAMENTE AL PRODUCTO Y AL LLEGAR AL FONDO DEL SECADOR, RETORNA EN CONTRACORRIENTE A ESE LO CUAL, DESDE EL PUNTO DE VISTA DE LA INSTANTANIZACIÓN, ES FAVORABLE PUES FAVORECE UN MAYOR APROVECHAMIENTO DEL CALOR DEL AIRE POR LO QUE EL SECADO PUEDE EFECTUARSE EN MENOR TIEMPO EN COMPARACIÓN CON EL FLUJO PARALELO DONDE A ESCALA INDUSTRIAL RARA VEZ SE EMPLEAN 30 SEG (15); ADEMÁS, EL FLUJO MIXTO REALIZA UNA CLASIFICACIÓN INICIAL DEL POLVO SEPARANDO LA FRACCIÓN DE FINOS QUE PUEDEN SER DESTINADOS A LA AGLOMERACIÓN Y QUE PERMITE ENFRIAR MÁS RÁPIDAMENTE AL PRODUCTO.

EN EL DISEÑO DEL SECADOR DEBE TOMARSE EN CUENTA QUE NO EXISTA UNA TURBULENCIA EXCESIVA EN LA CORRIENTE DE AIRE QUE CONTRIBUYA A AUMENTAR LA DENSIDAD A GRANEL YA QUE ELLO IMPLICA HACER MÁS DIFÍCIL LA REHUMECTACIÓN. UNA DE LAS PATENTES MÁS RECIENTES DE PROCESOS DE INSTANTANIZACIÓN (LA U.S. 4490403 DEL 13 DE JUNIO DE 1980 POR PISECKY, STRUP, KRAG Y SORENSEN DE NIRO ATOMIZER, INC.), RECOMIENDA LA UTILIZACIÓN DE FLUJO MIXTO DURANTE EL SECADO PUES ELLO ES BASE PARA REALIZAR UNA DISTRIBUCIÓN DEL POLVO HACIA LOS DIFERENTES PUNTOS DEL SECADO Y LA INSTANTANIZACIÓN EN BASE AL DIÁMETRO DE PARTÍCULA, QUE ASEGURA A SU VEZ QUE CADA FRACCIÓN DEL POLVO RECIBA ÚNICAMENTE EL TRATAMIENTO TÉRMICO INDISPENSABLE PARA SU SECADO, ESTABILIZACIÓN E INSTANTANIZACIÓN.

DURANTE EL SECADO, EL AIRE CEDE CALOR AL ALIMENTO, LA HUMEDAD SE EVAPORA Y EL AIRE DISMINUYE SU TEMPERATURA.

FIGURA NO.7

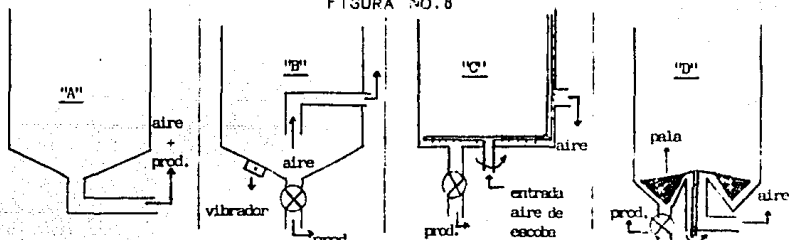


EN LA FIGURA NO.7 SE ILUSTRAN DE MANERA CUALITATIVA LOS CAM-

BIOS EN TEMPERATURA Y PRESIÓN DE VAPOR TANTO EN EL PRODUCTO COMO EN EL AIRE DE PROCESO A LO LARGO DE UN SECADOR POR ASPERSIÓN CON FLUJOS EN CONTRACORRIENTE Y EN PARALELO. DE ÉSTA FIGURA DESTACA UNA DESVENTAJA MÁS DEL FLUJO EN CONTRACORRIENTE QUE ES EL HECHO DE QUE EL PRODUCTO ES DESCARGADO A UNA TEMPERATURA SUPERIOR LO QUE ES INDESEABLE NO SÓLO PARA EFECTOS DE LAS PROPIEDADES DE INSTANTANIZACIÓN SINO TAMBIÉN PARA LAS CUALIDADES SENSORIALES DE LA LECHE Y AUNQUE TÉRMICAMENTE HABLANDO ÉSTE ARREGLO ES MÁS EFICIENTE, SE TIENE IGUALMENTE EL INCONVENIENTE DE QUE SU CONSUMO ENERGÉTICO ES TAMBIÉN MAYOR.

B) DESALOJO Y SEPARACIÓN DEL POLVO: ESTANDO EN FUNCIÓN DEL ARREGLO DE CORRIENTES DENTRO DEL SECADOR, EXISTEN DIVERSAS FORMAS DE DESALOJAR EL PRODUCTO SECO DEL EQUIPO Y HACER LA SEPARACIÓN DE ÉSTE DE LA CORRIENTE DE AIRE EN QUE SE HALLA SUSPENDIDO; LA FIGURA NO.3 ILUSTRAL ALGUNAS DE ELLAS SIENDO SIEMPRE RECOMENDABLE EL EMPLEO DE UNO O MÁS SEPARADORES CICLÓNICOS.

FIGURA NO. 3



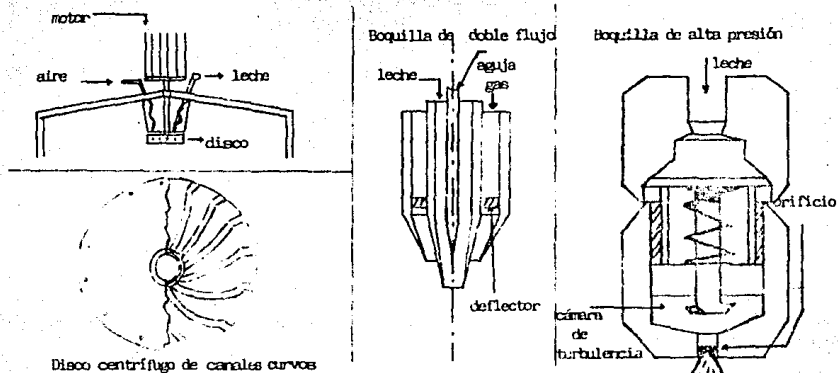
UNA COMBINACIÓN DE LOS TIPOS "A" Y "B" ES LA MÁS UTILIZADA EN LA PRÁCTICA POR CUESTIONES DE COSTOS Y FACILIDAD DE OPERACIÓN, ADEMÁS DE QUE ASÍ EL ALIMENTO RECIBE UN MENOR MANEJO MECÁNICO LO CUAL ALEJA LA POSIBILIDAD DE QUE SE DIFICULTE LA REHIDRATACIÓN POR PRESENCIA DE GRASA LIBRE EN LA SUPERFICIE.

C) MECANISMOS DE ASPERSIÓN: EN EL SECADO POR ASPERSIÓN, EL LÍQUIDO EN FORMA DE BRUMA O NIEBLA ADQUIERE UNA GRAN ÁREA DE TRANSFERENCIA POR UNIDAD DE MASA LO QUE EXPLICA LOS CORTOS TIEMPOS DE RESIDENCIA QUE HACEN DE ÉSTA TÉCNICA LA MÁS AMPLIAMENTE UTILIZADA EN LA DESHIDRATACIÓN DE ALIMENTOS LÍQUIDOS. LAS DIMENSIONES DE LAS PEQUEÑAS GOTAS SON IMPORTANTES NO SOLO DESDE EL PUNTO DE VISTA DEL SECADO SINO QUE, EN UNIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES DEL POLVO, EJERCEN CONSIDERABLE INFLUENCIA SOBRE LOS PROCESOS DE AGLOMERACIÓN QUE SUCEDEN AL SECADO.

PARA LA ATOMIZACIÓN DEL LÍQUIDO SE PUEDE RECURRIR A ALGUNO DE LOS TRES DIFERENTES TIPOS DE NEBULIZADORES QUE SON: LAS BOQUILLAS DE ALTA PRESIÓN, LOS DISCOS CENTRÍFUGOS O LAS BOQUILLAS DE

-DOBLE FLUJO. MISMOS QUE SE ILUSTRAN EN LA FIGURA NO. 9 Y QUE SE DESCRIBEN ENSEGUIDA:

FIGURA NO. 9



Disco centrífugo de canales curvos

BOQUILLAS DE ALTA PRESIÓN: EL TIPO BÁSICO ESTÁ CONSTITUIDO POR EL MOSTRADO EN LA FIGURA 9. SE TRATA DE UN DISPOSITIVO QUE SE ENROSCA A LA TUBERÍA DE ALIMENTACIÓN FORZANDO AL LÍQUIDO A PASAR POR LA BOQUILLA MEDIANTE BOMBEO, LOGRANDOSE LA ATOMIZACIÓN CUANDO ESTE PASA POR EL ORIFICIO. EL TAMAÑO DE LAS GOTAS FORMADAS VA DE 10 A 100 MICRAS PARA LACTEOS DEBIENDO EMPLEARSE PRESIONES ENTRE 20 Y 80 BAR EN PRODUCTOS DE BAJA VISCOSIDAD Y HASTA 200 BAR SI LA VISCOSIDAD ES ALTA, LO QUE SE LOGRA CON EL USO DE BOMBAS DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO, USUALMENTE DE PISTONES (10). EL LÍQUIDO PENETRA TANGENCIALMENTE A LA CÁMARA DE TURBULENCIA Y SALE POR EL ORIFICIO FORMANDO UN CONO DE ASPERSIÓN; LOS DIÁMETROS DEL ORIFICIO SE HALLAN ENTRE 0.5 Y 3 MM SIENDO POSIBLE CAMBIARLOS FÁCILMENTE, MIENTRAS QUE EL ÁNGULO FORMADO POR EL CONO DE ASPERSIÓN ES FUNCIÓN DIRECTA DEL GASTO VOLUMÉTRICO MANEJADO Y DEL DIÁMETRO DEL ORIFICIO CON VALORES QUE OSCILAN ENTRE LOS 60 Y 90°. A NIVEL INDUSTRIAL LAS CAPACIDADES DE LA INSTALACIÓN MÁS USUALES SON ENTRE 200 Y 600 L/H (11) AUNQUE ESTAS PUEDEN VARIAR CON LA PRESIÓN DE DESCARGA DE LA BOMBA, EL ORIFICIO EMPLEADO Y EL NÚMERO DE BOQUILLAS INSTALADAS EN EL SECADOR QUE PUEDEN SER TANTAS COMO LA CAPACIDAD DE LA BOMBA Y EL SUMINISTRO DE AIRE CALIENTE LO PERMITAN.

CON LA UTILIZACIÓN DE BOQUILLAS DE ALTA PRESIÓN SE OBTIENEN PARTÍCULAS CUYO TAMAÑO PROMEDIO ES SUPERIOR A LAS PRODUCIDAS CON DISCOS CENTRÍFUGOS ADEMÁS DE QUE MUESTRAN UNA DISPERSIÓN MENOR EN LA DISTRIBUCIÓN DE TAMAÑOS (15). SITUACIÓN QUE DEBE TOMARSE EN CUENTA PARA DECIDIR EL MEJOR MECANISMO DE INSTANTANEOZACIÓN; EL TAMAÑO DE LAS GOTAS FORMADAS SE HALLA EN FUNCIÓN DE LA PRESIÓN DE

-DESCARGA (A MAYOR PRESIÓN, MENOR TAMAÑO), LA CAPACIDAD DE LA BOQUILLA, LA FORMA DEL CONO DE ASPERSIÓN, LA VISCOSIDAD DEL LÍQUIDO (A MAYOR VISCOSIDAD, MAYOR ES LA GOTAS) Y LA TENSION SUPERFICIAL DEL MISMO. COMO SE HA MENCIONADO, LA DISPERSION DE TAMAÑOS EN LAS GOTAS FORMADAS ES BAJA, SIN EMBARGO, EXISTE LA DESVENTAJA DE QUE MUESTRAN UNA ALTA ESFERICIDAD UNA VEZ SECAS POR LO QUE ES DIFÍCIL REHIDRATARLAS DADA SU ELEVADA TENSION SUPERFICIAL ADEMÁS DE QUE ÉSTA FORMA AUMENTA LA DENSIDAD A GRANDEL DEL PRODUCTO Y HACE DIFÍCIL OBTENER AGLOMERADOS CON EL VOLUMEN DE ESPACIOS VACÍOS ADECUADO.

- DISCOS CENTRÍFUGOS: AMPLIAMENTE UTILIZADOS A CAUSA DEL AMPLIO RANGO DE GASTOS QUE UN SOLO DISCO PUEDE MANEJAR Y POR NO TENER LIMITACIONES EN CUANTO A LAS CARACTERÍSTICAS DE ABRASIVIDAD DEL FLUÍDO A SECAR, ATCHIZAN EL LÍQUIDO GRACIAS A LA FUERZA CENTRÍFUGA PROPORCIONADA POR MOTORES ELÉCTRICOS U OTROS MEDIOS COMO LAS TURBINAS DE VAPOR. EN LA PRÁCTICA, UN SOLO DISCO PUEDE ATONIZAR HASTA 500 L/H CAMBIANDO ÚNICAMENTE LA VELOCIDAD DE GIRO. Dicho valor es hasta de 30000 R.P.M. O AUN MÁS; SI FUESE NECESARIO ELIMINAR EL GASTO MANEJADO ES POSIBLE CAMBIAR EL DISCO POR UNO QUE TENGA UN MAYOR NÚMERO DE CANALES O BIEN UN ESPESOR MAYOR (15). PARA PROTEGER LAS PARTES MÓVILES Y LOS SELLOS MECÁNICOS DEL CALOR DEL SECADOR, ÉSTOS ESTAN RODEADOS POR UNA CAMISA METÁLICA POR LA QUE CIRCULA UN FLUÍDO DE ENFRÍAMIENTO (AIRE AMBIENTE POR LO GENERAL).

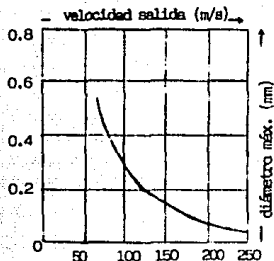
TANTO LA FORMA COMO EL DIÁMETRO MÁXIMO DE LAS GOTAS DE LECHE SON DETERMINANTES PARA LA VELOCIDAD DE PROCESO Y POR TANTO, PARA LA ESTRUCTURA SÓLIDA DEL POLVO Y SUS CALIDADES DE RECONSTITUCIÓN COMO SE VERÁ POSTERIORMENTE. AL EMPLEAR DISCOS CENTRÍFUGOS SON VARIOS LOS FACTORES QUE DETERMINAN ESAS VARIABLES: LA VELOCIDAD DE GIRO DEL DISCO, EL DIÁMETRO DE ÉSTE, LA VISCOSIDAD DEL LÍQUIDO, LAS DIMENSIONES DE LOS ORIFICIOS DE DESCARGA, EL ESPESOR DEL DISCO, LA FORMA DE LOS CANALES, ETC; COMO ES DE ESPERARSE, PROPIEDADES COMO LA DENSIDAD A GRANDEL TAMBIÉN SE RELACIONAN CON EL TAMAÑO Y FORMA DE LAS PARTÍCULAS OBTENIDAS.

CON RESPECTO A LO ANTERIOR, TROESCH Y WILK (16) OBTUVIERON UNA RELACION ENTRE LA VELOCIDAD DE SALIDA DE LA GOTAS Y EL DIÁMETRO MÁXIMO QUE ESTAS ALCANZAN, TANTO PARA DISCO CENTRÍFUGO COMO PARA BOQUILLAS DE ALTA PRESIÓN; LA FIGURA NO. 10 MUESTRA EN FORMA GRÁFICA ESA RELACION. DE MANERA PRÁCTICA, SE RECOMIENDA EMPLEAR VELOCIDADES NO INFERIORES A LOS 100 M/SEG.

ALGUNAS MEDIDAS COMUNES PARA DISCOS CENTRÍFUGOS SON: ESPESOR DE 3 A 6 CM Y DIÁMETRO DE 75 A 350 MM (3), CON VELOCIDADES MAYORES A 10000 R.P.M Y GASTOS ALREDEDOR DE 1000 L/H.

- BOQUILLAS DE DOBLE FLUJO: ÉSTE ES EL MECANISMO DE NEBULIZACIÓN MENOS UTILIZADO EN EL SECADO DE LECHE, DONDE SE EMPLEA UN GAS (AIRE O VAPOR) A PRESIONES ENTRE 1.5 Y 3 BAR (1) Y VELOCIDAD ENTRE 100 Y 200 M/SEG (4) PARA ESPREAR EL ALIMENTO.

FIGURA No. 10



EL CONO OBTENIDO, QUE PUEDE O NO SER HUECO, PRESENTA ABERTURAS ENTRE 20 Y 400 REGULABLES GRACIAS A LA AGUJA CENTRAL; CON UNA RELACION GAS/LECHE ENTRE 0.2 Y 0.5 - EN PESO, SE PUEDEN PROCESAR HASTA 1000 KG/H Y AUNQUE LOS ANGULOS MENCIONADOS SE EMPLEAN MÁS FRECUENTEMENTE SE PUEDE CONSEGUIR QUE SE ABRA CASI HASTA 180°. EL LÍQUIDO PUEDE LLEGAR A LA BOQUILLA IMPULSADO POR UNA PEQUEÑA BOMBA YA QUE NO ES NECESARIA UNA PRESIÓN MAYOR A LA INDISPENSABLE PARA HACER LLEGAR LA LECHE A LA BOQUILLA.

EL POCO USO QUE SE HACE DE ÉSTE MECANISMO DE ASPERSIÓN SE DEBE EN EL CASO DE LA LECHE A LA GRAN DISPERSIÓN DE TAMAÑOS EN LA GOTA, AUNQUE SÍ SE EMPLEA CON FRECUENCIA COMO MEDIO DE ATOMIZACIÓN DE LAS MEZCLAS DE LECITINA QUE SE ADICIONAN COMO FORMA DE IMPARTIR PROPIEDADES HIDRÓFILAS AL POLVO DENTRO DE LOS PROCESOS DE INSTANTANIZACIÓN.

D) OTRAS VARIANTES: LAS VARIANTES MENCIONADAS EN LOS TRES INCISOS ANTERIORES SON LAS QUE DE MANERA MÁS DIRECTA INFLUYEN EL PRODUCTO ACABADO EN CUANTO A SUS PROPIEDADES INSTANTÁNEAS SE REFIERE, PERO ES POSIBLE ENCONTRAR OTRAS OPCIONES EN EL DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN COMO:

- FORMA DE HACER CIRCULAR EL AIRE: QUE PUEDE SER MEDIANTE UN TIRO FORZADO O INDUCIDO, SIENDO ESTO ÚLTIMO LO MÁS COMÚN POR LA FACILIDAD DE INSTALAR VARIOS VENTILADORES CONECTADOS A LOS EQUIPOS DE SEPARACIÓN DE POLVOS DE TAL FORMA QUE EL CAUDAL DE AIRE SEA VARIABLE; LOS SECADORES TRABAJANDO ASÍ OPERAN A UNA PRESIÓN LIGERAMENTE INFERIOR A LA ATMOSFÉRICA, LO CUAL EN ALGO AYUDA A QUE LA EVAPORACIÓN DEL AGUA SE REALICE A UNA TEMPERATURA MENOR (15).

- FORMA DE CALENTAMIENTO DEL AIRE: CUALQUIER MÉTODO QUE ASEGURE EL MANTENIMIENTO DE LA TEMPERATURA DE ENTRADA REQUERIDA PUEDE UTILIZARSE, CON EXCEPCIÓN DE AQUELLOS MÉTODOS QUE PERMITEN EL CONTACTO ENTRE EL AIRE Y LOS GASES DE COMBUSTIÓN. POR CUESTIONES DE COSTOS SE PREFERE EL EMPLEO DE INTERCAMBIADORES DE CALOR CON VAPOR A ALTA PRESIÓN SOBRE OTROS COMO LAS RESISTENCIAS ELÉCTRICAS (14).

- COLOCACIÓN DE LAS BOQUILLAS DENTRO DEL EQUIPO: ESTA VARÍA CON LA CAPACIDAD DE LA INSTALACIÓN, LAS DIMENSIONES DEL SECADOR, LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN, PATRÓN DE FLUJO DE AIRE Y PRODUCTO, ETC.

- PROCESO DE ACABADO POR FLUIDIZACIÓN: UNA VEZ SECAS Y DADAS LAS CONDICIONES DE HIGROSCOPICIDAD DE LAS PARTICULAS, LA LECHE REQUIERE DE UN PROCESO DE ESTABILIZACIÓN POSTERIOR A FIN DE LLEVARLA A



-LA HUMEDAD ADECUADA MEDIANTE UN SECADO Y ENFRIAMIENTO QUE SE REALIZAN EN UN EQUIPO DE LECHO FLUIDIZADO. ACTUALMENTE TODA LA LECHE EN POLVO PARA CONSUMO HUMANO RECIBE UN PROCESO DE INSTANTANIZACIÓN EN EL QUE SE INCLUYE UN TRATAMIENTO SIMILAR DE ESTABILIZACIÓN DEL ALIMENTO.

### 1.1.3 PROCESOS PREVIOS AL SECADO.

PARA EL ACONDICIONAMIENTO DE LA LECHE QUE VA A SER DESHIDRATADA EXISTEN UNA SERIE DE OPERACIONES PREVIAS; DEBIDO A LA IMPORTANCIA QUE ESTAS OPERACIONES TIENEN EN RELACIÓN AL OBJETO DE ESTUDIO, SE PRESENTA UNA BREVE SÍNTESIS DE LAS MISMAS HACIENDO ÉNFASIS EN LOS PUNTOS RELEVANTES.

A) RECEPCIÓN Y ALMACENAMIENTO: LA LECHE DEBE SER FILTRADA ANTES DE ENTRAR A LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE MATERIA PRIMA, DONDE SE CONSERVA A UNA TEMPERATURA DE 40°C MIENTRAS LLEGA EL MOMENTO DE PROCESARLA.

B) PRECALENTAMIENTO: LA TEMPERATURA DEL ALIMENTO SE ELEVA A UNOS 40°C PARA FACILITAR LA ESTANDARIZACIÓN.

C) ESTANDARIZACIÓN: DEBIDO A QUE LA CANTIDAD DE GRASA EN LA LECHE VARÍA CON DIVERSOS FACTORES RELACIONADOS A LAS VACAS PRODUCTORAS COMO LA RAZA, ESTACIÓN DEL AÑO, ALIMENTACIÓN, ETC., ES NECESARIO AJUSTAR ESTA VARIABLE A FIN DE QUE EL PRODUCTO SE VEA SOMETIDO A CONDICIONES DE PROCESO UNIFORMES. ESTO SE LOGRA ELIMINANDO LOS EXCEDENTES POR CENTRIFUGACIÓN O INCORPORANDO GRASA BUTÍRICA EN TANQUES DE MEZCLADO, SEGUN SEA EL CASO, AJUSTANDO EL CONTENIDO GRASO A UN 3.2 A 3.5% EN PESO CON LO QUE SE OBTENDRÁ ENTRE 26 Y 28% PESO DE GRASA EN EL POLVO SECO (10).

D) PASTEURIZACIÓN: TIENE EL PROPÓSITO DE ELIMINAR LOS MICROORGANISMOS PATÓGENOS QUE SE ENCUENTRAN PRESENTES COMO CARGA MICROBIANA NORMAL DE LA MATERIA PRIMA; CONSISTE EN UN TRATAMIENTO TÉRMICO REALIZADO EN EQUIPOS INTERCAMBIADORES DE CALOR A UNA TEMPERATURA ENTRE 70 Y 74°C POR 30 SEG O BIEN 92°C POR 3 SEG EN EL CASO DE LA PASTEURIZACIÓN A ALTA TEMPERATURA. COMO TODO TRATAMIENTO TÉRMICO QUE SE EFECTUE A UN ALIMENTO, ES NECESARIO REALIZARLO CON ADECUADOS CONTROLES PARA EVITAR DAÑAR AL PRODUCTO PROVOCANDO LA PÉRDIDA TOTAL O PARCIAL DE SU VALOR NUTRITIVO O AFECTANDO OTROS PARÁMETROS DE CALIDAD COMO LA FACILIDAD DE RECONSTITUCIÓN.

E) HOMOGENIZACIÓN: LA LECHE ES UNA EMULSIÓN DE GRASA EN AGUA CONTENIENDO AMBAS FASES DIVERSAS SUSTANCIAS DISPERSAS EN ELLAS Y ESTANDO LAS CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA EMULSIÓN DETERMINADAS POR AQUELLAS DE LA FASE DISPERSORA QUE EN ESTE CASO ES AGUA; SIN EMBARGO, EXISTEN DIVERSOS FACTORES QUE PROPICIAN LA SEPARACIÓN DE LAS FASES MENCIONADAS EN LA LECHE FRESCA. LA HOMOGENIZACIÓN TIENE

-COMO PROPÓSITO PREVENIR O RETARDAR DICHA SEPARACIÓN REDUCIENDO EL DIÁMETRO DE LOS GLOBULOS DE GRASA DEL ALIMENTO POR MEDIOS MECANICOS. PARA LA ELABORACION DE LECHE ENTERA EN POLVO, LA IMPORTANCIA DE ÉSTA OPERACION RESIDE EN QUE AL PROPORCIONAR UNA DISTRIBUCIÓN UNIFORME DE LA GRASA SE INCREMENTA EL SABOR CARACTERÍSTICO DE LA LECHE Y SOBRETUDO, SE REDUCEN LAS POSIBILIDADES DE QUE EXISTA GRASA LIBRE EN EL PRODUCTO TERMINADO (11). LOS GLOBULOS DE GRASA DE LA LECHE SE HALLAN RODEADOS DE UNA MEMBRANA DE UNOS 5 A 10 NM DE ESPESOR QUE SE COMPONE APROXIMADAMENTE DE UN 34% EN PESO DE DIVERSOS FOSFOLÍPIDOS Y UN 66% DE PROTEÍNAS; CUANDO DICHA MEMBRANA SE ROMPE POR ALGUNA RAZÓN Y NO ES REGENERADA, LA GRASA DEL INTERIOR SE LIBERA CAUSANDO VARIOS INCONVENIENTES DESDE EL PUNTO DE VISTA DE LA CONSERVACIÓN DEL ALIMENTO POR SU SUCCEPTIBILIDAD A LA RANCIDEZ HIDROLÍTICA O ENZIMÁTICA Y DESDE EL PUNTO DE VISTA DE LA REHIDRATACIÓN DEL POLVO YA QUE TIENDE A ACUMULARSE EN LA SUPERFICIE DE LAS PARTÍCULAS DE LECHE CON LO QUE SE FORMA UNA PELÍCULA HIDRÓFOBA ALREDEDOR DE LAS MISMAS QUE IMPIDE EL CONTACTO DEL AGUA CON EL ALIMENTO (1), (4), (9).

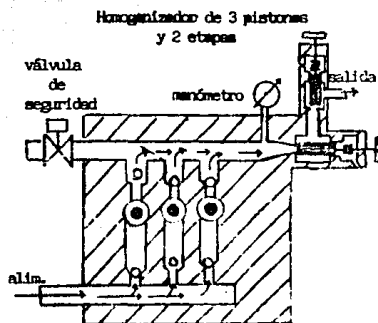
DURANTE EL PROCESO DE HOMOGENIZACIÓN LA MEMBRANA ORIGINAL ES DESTRUIDA CON LO QUE SE REGISTRA UN AUMENTO DE LA TENSIÓN SUPERFICIAL ENTRE LAS FASES PUES AQUELLA ACTÚA NORMALMENTE COMO EMULSIFICANTE; A PESAR DE ELLO, LOS FOSFOLÍPIDOS SE REAGRUPAN RÁPIDAMENTE FORMANDO UNA NUEVA MEMBRANA CON LO QUE LA TENSIÓN SUPERFICIAL REGRESA A SU VALOR ORIGINAL. LA NUEVA MEMBRANA SE HALLA COMPUESTA EN SU FRACCIÓN PROTÉICA PRINCIPALMENTE POR CASEÍNA HABIENDO DISMINUIDO LA PROPORCIÓN DE FOSFOLÍPIDOS (7).

ANTES DE LA HOMOGENIZACIÓN EL TAMAÑO DE LOS GLOBULOS SE HALLA ENTRE 2 Y 6 MICRAS, TRATÁNDOSE CON ÉSTA OPERACIÓN DE DISMINUIR LA MEDIA HASTA MENOS DE 1 MICRA, PREFERENTEMENTE A 0.7 DEBIDO A QUE LOS GLOBULOS DE ÉSTE TAMAÑO MUESTRAN UNA MENOR TENDENCIA A REAGRUPARSE PUES EL MOVIMIENTO BROWNIANO LO IMPIDE. KURZHALS (17) ESTABLECE QUE PARA OBTENER UN 90% DE EFICIENCIA, MEDIDA COMO LA RELACIÓN ENTRE EL VOLUMEN OCUPADO POR LA GRASA QUE SE HALLA EN GLOBULOS CON DIÁMETRO INFERIOR A 0.7 MICRAS Y EL VOLUMEN TOTAL DE LA FRACCIÓN GRASA DE LA MUESTRA A UNA TEMPERATURA DE 200°C, LAS CONDICIONES DE HOMOGENIZACIÓN SON DE 450°C CON PRESIONES DE 200 Y 30 BAR PARA LA 1A. Y 2A. ETAPAS RESPECTIVAMENTE.

EL PROCESO SE LLEVA A CABO FORZANDO AL LÍQUIDO A CIRCULAR A TRAVÉS DE UN PEQUEÑÍSIMA ABERTURA, LIGERAMENTE MAYOR AL DIÁMETRO MÁXIMO DESEADO EN LOS GLOBULOS E IMPULSANDO A LA LECHE MEDIANTE UNA BOMBA DE PISTONES QUE PRESIONA CONTRA DOS VÁLVULAS DE ASIENTO AJUSTABLES. LA FIGURA NO. 11 MUESTRA UN HOMOGENIZADOR DE 3 PISTONES Y 2 VÁLVULAS (2 ETAPAS) QUE ES DEL TIPO REGULARMENTE EMPLEADO AUNQUE A VECES SE USEN APARATOS DE 5 PISTONES.

LA HOMOGENIZACIÓN ALTERA ALGUNAS DE LAS PROPIEDADES DE LA LECHE, POR EJEMPLO, LA VISCOSIDAD AUMENTA EN APROX. UN 13% (1) Y LA

FIGURA No.11



-NUEVA MEMBRANA DISMINUYE SU ESPESOR.

F) CONCENTRACIÓN: DE 100 PARTES DE LECHE ENTERA FRESCA CON APROX. 12% DE SÓLIDOS TOTALES, ALREDEDOR DE 71 SON REMOVIDAS COMO EVAPORACIÓN DE AGUA PREVIA AL SECADO, 16 SE ELIMINAN EN ESA OPERACIÓN Y MAS O MENOS 0.5 PARTES PERMANECE EN EL POLVO COMO HUMEDAD RESIDUAL, CON LO QUE AL ENTRAR A CONCENTRACIÓN LA LECHE CONTIENE UN 87% PESO DE AGUA Y SALE CON 40 A 50% PARA LOGRAR BUENAS CARACTERÍSTICAS DE DISPERSIÓN EN EL PRODUCTO TERMINADO SE REQUIERE NUEVAMENTE AQUÍ CONTROLAR EL EFECTO DE LA TEMPERATURA SOBRE LOS COMPONENTES DE LA LECHE.

LA CONCENTRACIÓN SE PUEDE EFECTUAR EN DIVERSOS EQUIPOS COMO LOS EVAPORADORES DE TUBOS VERTICALES DE PELÍCULA ASCENDENTE O DESCENDENTE, LOS EVAPORADORES DE TUBOS HORIZONTALES, LOS DE PLACAS, LOS DE PELÍCULA ADELGAZADA O LOS EVAPORADORES-CENTRÍFUGOS. LOS DE USO MAS EXTENDIDO SON LOS DE PELÍCULA DESCENDENTE A VACÍO CON 2 O 3 EFECTOS DE EVAPORACIÓN A TEMPERATURAS DE 70, 55 Y 40°C EN EL CADA UNO CASO Y CON COEFICIENTES GLOBALES DE TRANSFERENCIA DE CALOR DE APROX. 2100 W/M<sup>2</sup>.K PARA EL 1ER EFECTO Y 1500 Y 1000 W/M<sup>2</sup>.K PARA EL 2O. Y 3ER. EFECTO RESPECTIVAMENTE (5),(10)

G) CALENTAMIENTO: EL PRODUCTO RECIBE UN CALENTAMIENTO PREVIO AL SECADO A FIN DE AJUSTAR LA TEMPERATURA DEL MISMO A LOS GRADIENTES REQUERIDOS PARA LA DESHIDRATACIÓN; LA OPERACIÓN SE REALIZA EN UN INTERCAMBIADOR DE CALOR DE CUALQUIER TIPO. NUEVAMENTE AQUÍ EL INTERÉS PARA UNA BUENA INSTANTANIZACIÓN RADICA EN EVITAR EL DETERIORO TÉRMICO DEL ALIMENTO.

#### 1.1.4 CONDICIONES GENERALES DE SECADO.

AL LLEGAR A ESTE PUNTO, LA LECHE ENTERA SE HALLA LISTA PARA SER SECADA BAJO LAS SIGUIENTES CONDICIONES DE PROCESO RECOMENDADAS:

- TEMPERATURA DE ENTRADA DE LA LECHE: 70°C.
- TEMPERATURA DE ENTRADA DEL AIRE: 170 A 200°C.
- TEMPERATURA DE SALIDA DEL AIRE: 70 A 75°C.
- VELOCIDAD DE LA GOTA AL FORMARSE EL CONO DE ASPERSIÓN: 100 M/SEG MÍNIMO.
- CONCENTRACIÓN DE SÓLIDOS TOTALES A LA ENTRADA: 40 A 50% PESO.
- HUMEDAD DE DESCARGA DEL POLVO: 5 A 8% PESO.

- TEMPERATURA DE LA SUPERFICIE DE LA GOTA: 40 A 500C.
- HUMEDAD INICIAL DEL AIRE: 65% MÁXIMA.
- TIEMPO DE RESIDENCIA DE UNA PARTÍCULA: 30 SEG MÁXIMO.
- TEMPERATURA DE SALIDA DEL POLVO: 750C MÁXIMO.

UNA VEZ SECO EL PRODUCTO SE SEPARA DE LA CORRIENTE DE AIRE MIENTRAS ES ENFRIADO HASTA MENOS DE 300C DEBIENDO SER ESTE PROCESO LO MAS RÁPIDO POSIBLE YA QUE EL MANTENER LA LECHE POR ENCIMA DE ESA TEMPERATURA IMPLICA PROPICIAR LA LIBERACIÓN DE GRASA; SI EL PRODUCTO FUE SECADO ADECUADAMENTE LA FRACCIÓN LIBRE DE GRASA NO DEBE SOBREPASAR EL 14% (18) Y ES ESTO LO QUE HACE DEL SECADO POR ASPERSIÓN EL PROCESO QUE EN ESE ASPECTO DETERIORA MENOS AL ALIMENTO Y QUE OFRECE POR TANTO, MEJORES POSIBILIDADES DE REHIDRATACIÓN COMPLETA DEL MISMO PUES INCLUSO LA LECHE SECADA POR LIOFILIZACIÓN MUESTRA NIVELES ENTRE 43 Y 75% DE GRASA LIBRE, SITUACIÓN QUE SUGIERE QUE DURANTE LA CONGELACIÓN LOS CRISTALES DE HIELO DESTRUEN LA MEMBRANA GLOBULAR PERMITIENDO QUE ESCAPE LA GRASA.

BEYERLEIN (19), QUIEN HA ESTUDIADO LAS PROPIEDADES DE RECONSTITUCIÓN DE LECHE ENTERA, LECHE DESCREMADA Y CREMA SECADOS POR ASPERSIÓN Y LIOFILIZADOS, EXPERIMENTÓ CON CONCENTRACIONES INICIALES DE SÓLIDOS TOTALES ENTRE 12.5 Y 30% CONCLUYENDO QUE LAS MUESTRAS PRESENTAN REHIDRATACIÓN DEFICIENTE. COMO YA SE MENCIONÓ, LA MAYOR PARTE DEL AGUA ES EVAPORADA DURANTE LA CONCENTRACIÓN POR LO QUE DE NO SALIR EL ALIMENTO DE DICHO PROCESO CON LA CANTIDAD DE SÓLIDOS REQUERIDA EXISTIRÁ UN EXCESO DE AGUA QUE RETARDARÁ EL SECADO O REQUERIRÁ DEL EMPLEO DE TEMPERATURAS DE PROCESO MAS ELEVADAS, YA SEA EN EL LÍQUIDO ALIMENTADO AL SECADOR O BIEN EN EL AIRE DE PROCESO LO QUE IMPLICA UN CAMBIO EN LOS MECANISMOS DE TRANSFERENCIA DE MASA Y/O DAÑO TÉRMICO AL PRODUCTO. A CONTINUACIÓN SE PASARÁ A ESTUDIAR LO REFERENTE A LA OPERACIÓN CONOCIDA COMO INSTANTANIZACIÓN, UNA VEZ REVISADOS LOS ASPECTOS IMPORTANTES DEL SECADO POR ASPERSIÓN.

## 1.2 ASPECTOS GENERALES DE LA INSTANTANIZACIÓN.

PARA COMENZAR, SE DEFINIRÁ LA OPERACIÓN DE INSTANTANIZACIÓN. LA RECONSTITUCIÓN DE UN PRODUCTO QUE HA SIDO DESHIDRATADO POR CUALQUIER MÉTODO SE REFIERE A LA REINCORPORACIÓN DEL AGUA ELIMINADA DE ÉSTE HASTA QUE SE ALCANCE LA CONCENTRACIÓN DE SÓLIDOS TOTALES QUE TENÍA PREVIAMENTE; SI ELLO PUEDE HACERSE EN FORMA RÁPIDA, OBTENIÉNDOSE UN PRODUCTO HOMOGÉNEO, MUY SIMILAR EN APARIENCIA Y PROPIEDADES A SU ESTADO ORIGINAL, SE DICE ENTONCES QUE DICHO PRODUCTO ES INSTANTÁNEO (20).

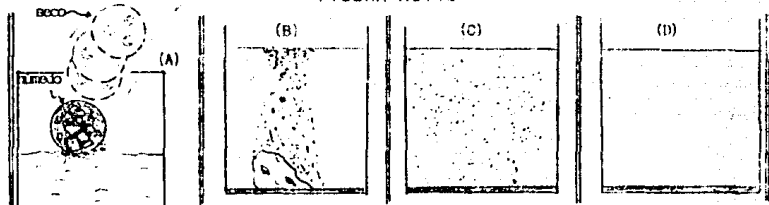
EN LA PRÁCTICA Y POR LOS RESULTADOS ARROJADOS POR DIVERSOS EXPERIMENTOS (20) SE HA VISTO QUE LA MAYORÍA DE LOS POLVOS CUYAS PARTÍCULAS PRESENTAN MEDIA DE TAMAÑOS INFERIOR A 100 MICRAS MUESTRAN UNA GRAN DIFICULTAD PARA RECONSTITUIRSE (6), (15), LO CUAL SE DEBE ENTRE OTROS FACTORES, A LA GRAN TENSIÓN SUPERFICIAL QUE SE ORIGINA POR LA BAJA RELACIÓN ÁREA/VOLUMEN DEL POLVO. LA LECHE ENTE-

-RA EN POLVO NO ES LA EXCEPCIÓN A ÉSTA REGLA SINO QUE ADEMÁS SE A GUDIZA EN SU CASO ESA SITUACIÓN POR LA DIVERSIDAD DE SUS COMPONENTES QUÍMICOS Y LA COMPLEJIDAD DE LOS CAMBIOS A QUE SE VEN SUJETOS DURANTE LA DESHIDRATACIÓN TÉRMICA, AQUEL PROCESO QUE IMPARTA A UN PRODUCTO SECO UNA RÁPIDA Y ADECUADA POSIBILIDAD DE RECONSTITUIRSE ES LLAMADO ENTONCES, INSTANTANIZACIÓN.

### 1.2.1 LA RECONSTITUCIÓN.

A CONTINUACIÓN SE DETALLA EL MECANISMO QUE DEBERÁ SEGUIR LA LECHE ENTERA -Y EN GENERAL CUALQUIER POLVO- DURANTE SU RECONSTITUCIÓN. SE PRESENTAN EN LA SECUENCIA EN QUE SE DAN CADA UNO DE LOS PASOS NECESARIOS PARA LA OBTENCIÓN DE UN PRODUCTO LO MAS SEMEJANTE POSIBLE AL ALIMENTO FRESCO E ILUSTRÁNDOLOS MEDIANTE LA FIGURA NO.12 EN LA QUE SE MUESTRA ESQUEMÁTICAMENTE UNA PARTÍCULA DURANTE EL PROCESO.

FIGURA NO.12



- LAS PARTÍCULAS SE HUMEDECEN EN SU SUPERFICIE EN CUANTO ENTRAN EN CONTACTO CON EL AGUA, QUE PENETRA POR LOS POROS AL INTERIOR DE ESTAS. (A).
- AL AUMENTAR EL PESO ESPECÍFICO DE LA PARTÍCULA A CAUSA DE LA ABSORCIÓN DE AGUA, ÉSTA SE HUNDE HASTA EL FONDO DEL RECIPIENTE. (B).
- LA PARTÍCULA SE DESINTEGRA DISPERSÁNDOSE POR TODO EL LÍQUIDO PARA FORMAR UNA SUSPENSIÓN. (C).
- LOS COMPONENTES MOLECULARES DE LAS PEQUEÑÍSIMAS PARTÍCULAS DE LA SUSPENSIÓN INTERACCIONAN CON EL AGUA SOLUBILIZÁNDOSE Y REESTABLECIENDO LA EMULSIÓN ORIGINAL DE LA LECHE FRESCA. (D).

EL PASO "A" DEL MECANISMO DE RECONSTITUCIÓN ES LA PROPIEDAD FÍSICA DE LOS POLVOS CONOCIDA COMO HUMECTABILIDAD, QUE EXPERIMENTALMENTE ES MEDIDA ATRAVÉS DE UN ÍNDICE DE HUMECTABILIDAD DEFINIDO COMO EL TIEMPO NECESARIO PARA QUE EL POLVO ADICIONADO A LA CANTIDAD DE AGUA NECESARIA PARA SU REHIDRATACIÓN PRESENTE HUMEDA LA TOTALIDAD DE SU SUPERFICIE. LA PROPORCIÓN LECHE/AGUA MANEJADA COMÚNMENTE ES DE 30G DE LECHE ENTERA POR CADA 210 ML DE AGUA (21).

LA PROPIEDAD CONOCIDA COMO SUMERGIBILIDAD ESTA REPRESENTADA EN EL PASO "B" Y ES DE ESPERARSE QUE ENTRE MEJOR SEA LA HUMECTABILIDAD DEL ALIMENTO, DICHO FENÓMENO SE DARÁ MÁS RÁPIDAMENTE. LA DIS

-PERSIBILIDAD CORRESPONDE AL PASO "C" Y ES DEFINIDA COMO LA RAPI- DEZ DE DISGREGACIÓN DE LAS PARTÍCULAS DEL POLVO. FINALMENTE, EL ÚLTIMO PASO DEL MECANISMO ES LA PROPIEDAD CONOCIDA COMO SOLUBILI- DAD, MEDIDA EN FORMA INDIRECTA MEDIANTE UN ÍNDICE DE SOLUBILIDAD Y QUE CORRESPONDE AL VOLUMEN DE SÓLIDOS QUE NO SE SOLUBILIZAN EN RELACIÓN CON EL VOLUMEN TOTAL DE LA MUESTRA (15), (21).

EL PROCESO DE INSTANTANIZACIÓN CONSISTE EN IMPARTIR AL POLVO LAS CUALIDADES ANTERIORES, DE FORMA QUE ÉSTAS SE LLEVEN A CABO RÁ- PIDAMENTE; DICHO PROCESO CONSTA DE 2 OPERACIONES BÁSICAS: LA AGLO- MERACIÓN Y EL SECADO FINAL DEL POLVO.

### 1.2.2. LA AGLOMERACIÓN.

YA SE HA DICHO QUE EL TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS DETERMINA EN PARTE LA BUENA REHIDRATACION DEL POLVO Y QUE ÉSTE A SU VEZ DEPEND- DE PRINCIPALMENTE DE LAS CONDICIONES DE SECADO; SIN EMBARGO, ATRA- VÉS DE UN PROCESO FÍSICO DE AGLOMERACIÓN SE PUEDEN OBTENER CUALI- DADES INSTANTÁNEAS CON LA FORMACIÓN DE GRÁNULOS O AGLOMERADOS DE POLVO CUYO TAMAÑO ES SENSIBLEMENTE MAYOR AL DE LAS PARTÍCULAS IN- DIVIDUALES DE QUE SE COMPONE.

SI UNA CANTIDAD DETERMINADA DE POLVO SE COLOCA EN LA SUPERFI- CIE DEL AGUA NECESARIA PARA SU RECONSTITUCIÓN, TENIENDO ESTE CUA- LIDADES O TENDENCIAS HIDRÓFILAS, AQUELLAS PARTÍCULAS EN CONTACTO DIRECTO CON EL AGUA SE HUMECTARÁN RÁPIDAMENTE; ADEMÁS, LAS FUER- ZAS CAPILARES GENERADAS EN LOS ESTRECHOS ESPACIOS INTERNOS DE LAS PARTÍCULAS Y LOS POROS QUE SE FORMAN DURANTE EL PROCESO DE DIFU- SIÓN DE AGUA EN EL SECADO FORZARÁN LA ENTRADA DE AGUA AL RESTO DE LA MASA DE PRODUCTO QUE NO SE HALLE EN CONTACTO CON EL LÍQUIDO. A PESAR DE LO ANTERIOR, SE SABE QUE LA PROFUNDIDAD DE PENETRACIÓN DEL AGUA EN LOS LÁCTEOS SECADOS POR ASPERSIÓN ES BASTANTE BAJA (1); LA EXPLICACIÓN SE HALLA EN EL HECHO DE QUE DESPUÉS DE UN COR- TO TIEMPO DE CONTACTO ENTRE AGUA Y LECHE TIENE EFECTO UN PROCESO DE FORMACIÓN DE UN HIDROCOLOIDE PROTÉICO EN LA INTERFASE CUYA RA- PIDEZ ES MAYOR A LA VELOCIDAD CON QUE EL AGUA PUEDE PENETRAR A LAS CAPAS INTERIORES. ESTE HIDROCOLOIDE, RESULTADO DEL SÚBITO AU- MENTO EN EL VOLUMEN DE LAS MOLECULAS DE PROTEÍNAS DEL SUERO (2), (4) ES UN GEL QUE CONSTITUYE UNA CAPA IMPERMEABLE EN LA ZONA DE CONTACTO DE LÍQUIDO Y POLVO QUE IMPIDE LA HUMECTABILIDAD DETENIEN- DO, POR TANTO, EL PROCESO DE RECONSTITUCIÓN. ASÍ, GRANDES PORCIO- NES DEL POLVO PERMANECEN SECAS Y ES MUY DIFÍCIL LOGRAR LA DISPERSI- ÓN Y SOLUCIÓN AÚN CON MEDIOS MECÁNICOS.

PARA SOLUCIONAR EL PROBLEMA ANTERIOR QUE INEVITABLEMENTE SE PRESENTA EN TODOS LOS LÁCTEOS EN POLVO SE REQUIERE DE UNA PARTÍCUL- LA GRANULAR OBTENIDA EN LA AGLOMERACIÓN, DONDE EL AGUA PENETRA AL INTERIOR DE ESTA ANTES DE QUE TRANSCURRA EL TIEMPO SUFICIENTE PA- RA LA FORMACIÓN DEL GEL EN LA INTERFASE; ELLO IMPLICA NECESARIA-

-MENTE LA MULTIPLICACION DE LAS FUERZAS DE CAPILARIDAD, LO QUE SE CONSIGUE CON LA CREACION DE NUEVOS ESPACIOS O POROS ENTRE LAS PARTÍCULAS DE UN AGLOMERADO (15), (11).

EN TEORÍA, EL PROBLEMA DEL HIDROCOLOIDE PROTÉICO ES EL ÚNICO QUE IMPIDE LA BUENA DISPERSIÓN DE LA LECHE ENTERA CORRECTAMENTE SECADA, ESTABILIZADA Y ENVASADA, PERO EXISTEN UNA SERIE DE DETALLES EN LA OPERACIÓN DE UNA PLANTA QUE VAN EN DETRIMENTO DE LA CALIDAD DEL PRODUCTO FINAL EN ESTE ASPECTO, COMO SE DISCUTIRÁ EN EL ANÁLISIS DE RESULTADOS DE ESTE ESTUDIO.

EL TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS GRANULARES QUE SE OBTIENEN EN EL AGLOMERADO DEBE ESTAR ENTRE 1 Y 3 MM (1), (20) PARA LO CUAL SE HAN DESARROLLADO DIVERSAS TECNOLOGÍAS, LA MAYOR PARTE DE LAS CUALES SE HALLAN BAJO PATENTE POR LAS GRANDES FIRMAS INDUSTRIALES DEL PROCESAMIENTO DE LÁCTEOS EN EL MUNDO Y SI BIEN ES DIFÍCIL ENCONTRAR REPORTADOS ALGUNOS DETALLES DE OPERACIÓN, ES POSIBLE HACER EL RECUENTO DE LAS TÉCNICAS EXISTENTES QUE SE PRESENTA A CONTINUACIÓN.

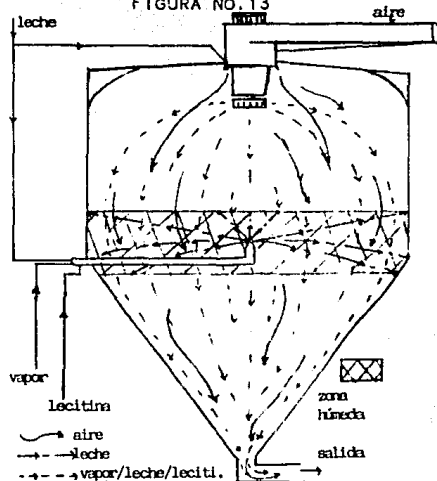
#### 1.2.2.1 TÉCNICAS DE AGLOMERACION DENTRO DEL SECADOR.

LA PRIMERA Y MÁS SIMPLE DE ESTE GRUPO DE TECNOLOGÍAS IMPLICA ÚNICAMENTE LA ADHERENCIA DE LAS GOTAS MÁS PEQUEÑAS Y POR LO TANTO MÁS RÁPIDAMENTE DESHIDRATADAS A AQUELLAS GOTAS DE MAYOR TAMAÑO CUYA SUPERFICIE SE HALLA TODAVÍA HÚMEDA. ESTO SE CONSIGUE EMPLEANDO MECANISMOS DE ASPERSIÓN QUE PROPORCIONEN UNA GAMA DE TAMAÑOS DE PARTÍCULA LO SUFICIENTEMENTE AMPLIA Y BALANCEADA EN SU DISTRIBUCIÓN COMO PARA QUE EXISTA UN EQUILIBRIO ENTRE EL NÚMERO DE GOTAS GRANDES Y PEQUEÑAS, DEBIÉNDOSE PREVER LOS TIEMPOS DE SECADO PARA CADA GRUPO DE PARTÍCULAS A FIN DE ESTAR EN CONDICIONES DE ASEGURAR EL CONTACTO ENTRE ELLAS EN EL MOMENTO ADECUADO LO CUAL DEPENDERÁ TAMBIÉN DEL PATRÓN DE CIRCULACIÓN DEL AIRE EN EL SECADOR. SI SE TOMA EN CUENTA LAS PARTICULARIDADES DE CADA INSTALACIÓN Y A ELLO SE ARADE EL HECHO DE QUE LA PROPORCIÓN DE PARTÍCULAS QUE PUEDEN ADHERIRSE A OTRAS POR SÍ SOLAS ES BASTANTE BAJA, SE TENDRÁ LA RAZÓN DE POR QUÉ ES POCO UTILIZADO ESTE PROCEDIMIENTO.

LA COMPANIA NESTLÉ DE SUIZA PATENTÓ EN EL AÑO DE 1963 (15) UNA TECNOLOGÍA DE AGLOMERACIÓN DENTRO DEL SECADOR CON LA QUE ACCEDIÓ AL MERCADO EN CONDICIONES MÁS FAVORABLES QUE SUS COMPETIDORES DE ENTONCES Y AUNQUE LOS DETALLES DE ÉSTA TÉCNICA NO SE HALLAN AL ALCANCE, SE SABE QUE EL MECANISMO ES SIMILAR AL ANTERIOR (BASADO EN LA AGLOMERACIÓN POR CONTACTO DE SUPERFICIES HÚMEDAS). LA FIGURA NO.13 ESQUEMATIZA ESTA TÉCNICA DONDE LAS PARTÍCULAS ESPREADAS MEDIANTE UN DISCO CENTRÍFUGO SE HALLAN SECAS EN LA SUPERFICIE DURANTE LA 2ª FASE DE SECADO, CUANDO SE ENCUENTRAN EN SU CAMINO DESCENDENTE CON LAS GOTAS QUE VIAJAN EN SENTIDO CONTRARIO ESPREADAS POR UNA BOQUILLA QUE PUEDE LLAMARSE DE "CRIBLE FLUJO" EN UN 100

-PERÍODO DE SECADO TENIENDO POR TANTO, HUMEDA SU SUPERFICIE. POR EL CENTRO DE LA BOQUILLA SE HACE CIRCULAR VAPOR SATURADO COMO MEDIO DE ASPERSIÓN Y CON EL PROPÓSITO DE GENERAR UNA ATMÓSFERA HÚMEDA DENTRO DE UNA ZONA DEL EQUIPO LOCALIZADA A UNA ALTURA ADECUADA QUE PROPICIE LA ADHERENCIA DE LAS PARTÍCULAS ENTRE SÍ. POR LA PARTE EXTERIOR DE LA BOQUILLA CIRCULA UNA FRACCIÓN DE LA LECHE A SECAR, PROPORCIONÁNDOSE CON ELLO LAS PARTÍCULAS HÚMEDAS A LAS QUE SE ADHIEREN LAS PROVENIENTES DE LA PARTE ALTA DEL SECADOR. MIENTRAS QUE ENTRE EL VAPOR Y LA LECHE CIRCULA UNA MEZCLA CALIENTE DE GRASA BUTÍRICA Y LECITINA; ESTE FOSFOLÍPIDO ES AMPLIAMENTE UTILIZADO COMO EMULSIFICANTE PARA FACILITAR LA REHIDRATACIÓN AL CUBRIR CON UNA DELGADA PELÍCULA A LA PARTICULA YA SECA EN LA QUE EL EXTREMO NO POLAR DE LA MOLÉCULA INTERACCIONA CON LA GRASA DE LA MEZCLA EN

FIGURA NO. 13

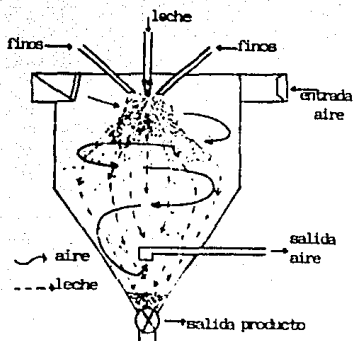


QUE SE ADICIONA A LA LECHE MIENTRAS QUE EL EXTREMO POLAR SE HALLA LIBRE PARA INTERACTUAR CON EL AGUA. LA LECITINA CUMPLE TAMBIÉN LA IMPORTANTE FUNCIÓN DE ESTABILIZAR EL PRODUCTO UNA VEZ RECONSTITUIDO IMPIDIENDO LA SEPARACIÓN ESPONTÁNEA DE FASES DURANTE EL ALMACENAMIENTO EN REFRIGERACIÓN, DE MANERA ANÁLOGA A COMO ACTÚA EN LA MEMBRANA DEL GLOBULO DE GRASA EN LA LECHE FRESCA. ES NECESARIO DESTACAR LA IMPORTANCIA DE QUE LA LECITINA SE AGREGUE EN LA PROPORCIÓN CORRECTA (ALREDEDOR DE 0.2% PESO SECO) PUES DE SER EXCESIVA LA CANTIDAD ADICIONADA EL EFECTO EMULSIFICANTE SE PIERDE TORNANDO SE EN UN FACTOR DE BAJA AFINIDAD POR EL AGUA (23).

UNA TERCERA TÉCNICA DE AGLOMERACIÓN DENTRO DEL SECADOR ESTABLECE QUE UNA PARTE CONSIDERABLE DEL POLVO SECO, ESPECIALMENTE LA FRACCIÓN DE FINOS OBTENIDA EN LAS DIVERSAS ETAPAS DE PROCESO, SEA RETORNADA AL SECADOR SUSPENDIDA EN UNA CORRIENTE DE AIRE QUE DESCARGA DIRECTAMENTE SOBRE LA ZONA DE FORMACIÓN DE LA NIEBLA DE ASPERSIÓN PRODUCIÉNDOSE ASÍ LA AGLOMERACIÓN POR CONTACTO CON LAS GOTAS RECIENTE FORMADAS (1), (15), (20). EN LA FIGURA NO. 14 SE MUESTRA ESTE PROCESO QUE PUEDE EMPLEARSE CON CUALQUIER TIPO DE ASPERSIÓN; ESTA MANERA DE OBTENER EL AGLOMERADO TIENE LA DESVENTAJA DE QUE LOS GRÁNULOS FORMADOS NO SON LO SUFICIENTEMENTE GRANDES ADEMÁS DE QUE BUENA PARTE DEL PRODUCTO ES SOMETIDO MÁS DE UNA VEZ A LAS ALTAS TEMPERATURAS DEL AIRE DE SECADO SIN TENER LA PROTECCIÓN DE UN CONTENIDO ALTO DE HUMEDAD.

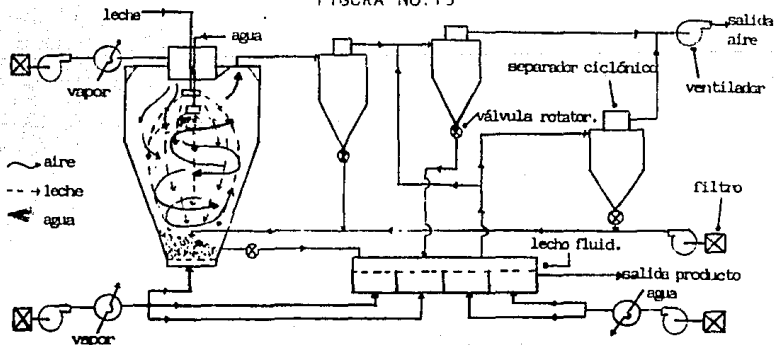


FIGURA NO. 14



NETRAR EL AGUA POR LOS POROS Y CAPILARES DEL AGLOMERADO CON EL RESULTADO DE QUE SE ACELERA AUN MÁS LA RECONSTITUCIÓN PUES LA DEGRADACIÓN DEL NÚCLEO PROMUEVE LA DISPERSIBILIDAD. PARA REFORZAR LOS RESULTADOS, QUE SON BASTANTE SATISFATORIOS PUES SE REPORTAN ÍNDICES DE HUMECTABILIDAD DE 10 SEG (9), SE EMPLEA UN DISPOSITIVO DE LECITINACIÓN POR ASPERSIÓN EN LA FASE FINAL DEL PROCESO. LOS INCONVENIENTES DE ÉSTA TÉCNICA SON QUE LOS COSTOS DE PRODUCCIÓN SE INCREMENTAN POR EL EMPLEO DE LA LACTOSA Y EL HECHO DE QUE EN ALGUNOS PAÍSES EL USO DE ADITIVOS DE CUALQUIER TIPO EN LA ELABORACIÓN DE LECHE EN POLVO ESTÁ BASTANTE RESTRINGIDO, ADEMÁS DE QUE EL PRODUCTO RESULTA CON UN SABOR MUY DISTINTO AL DE LA LECHE FRESCA.

UN PROCESO MÁS DE AGLOMERACIÓN EN EL SECADOR DE HALLA REGISTRADO BAJO LA PATENTE U.S.4490403 (VER FIGURA NO. 15) Y EN EL SE PROPONE UNA ESPECIE DE COMBINACIÓN DE FUNCIONES DEL SECADOR DADO QUE EN ÉSTE EQUIPO, ADEMÁS DE LA DESHIDRATACIÓN Y LA AGLOMERACIÓN, FIGURA NO. 15



-SE EFECTÚA UNA PRIMERA ETAPA DE FLUIDIZACIÓN PARA ESTABILIZACIÓN Y SECADO FINAL DEL POLVO.

LAS CONDICIONES DE SECADO HAN SIDO MODIFICADAS PARA QUE EXISTA UNA ELEVADA HUMEDAD EN LA PARTE ALTA DEL EQUIPO QUE PROPICIE LA GRANULACIÓN GRACIAS A LA ASPERSIÓN DE AGUA DENTRO DEL SECADOR DE MANERA TAL QUE EL POLVO LLEGUE AL FONDO CON UNA HUMEDAD ENTRE 14 Y 16%. PARA COMPENSAR LA ELEVADA HUMEDAD EN EL INTERIOR, EL AIRE ES INTRODUCIDO A 4000C, IMPARTIÉNDOLE FLUJO MIXTO E INYECTANDO AIRE SECO A 300C POR LA PARTE INFERIOR BUSCANDO SUSPENDER AL PRODUCTO ACUMULADO EN ESE SITIO A MANERA DE UNA PRIMERA ETAPA DE ESTABILIZACIÓN FINAL. LA PROPORCIÓN DE AIRE QUE ENTRA POR LA PARTE INFERIOR ES DE 2 A 4 VECES MENOS LA CANTIDAD ALIMENTADA POR ARRIBA, EMPLEÁNDOSE BOQUILLAS DE ALTA PRESIÓN PARA ESPREAR AGUA Y LECHE. NO SE ENCONTRARON REPORTADAS LAS CARACTERÍSTICAS FINALES DEL POLVO QUE PERMITAN ESTABLECER LA EFECTIVIDAD DE ÉSTA TÉCNICA CUANTITATIVAMENTE HABLANDO, AUNQUE ES POSIBLE AFIRMAR QUE LAS BASES TEÓRICAS EN QUE DESCANSA INDICAN UN TRATAMIENTO CORRECTO; ASÍ, SE PUEDE ESPERAR DE LOS DATOS MENCIONADOS Y DEL DIAGRAMA DE LA FIGURA NO. 15 QUE AL SECARSE EL ALIMENTO COMO GRÁNULO Y NO COMO PARTÍCULA INDIVIDUAL SE TENDRÁ ALTA RESISTENCIA MECÁNICA, BAJA DENSIDAD A GRANUL, BAJA PROPORCIÓN DE GRASA LIBRE Y UNA DISTRIBUCIÓN DE TAMAÑOS UNIFORME, ENTRE OTRAS VENTAJAS.

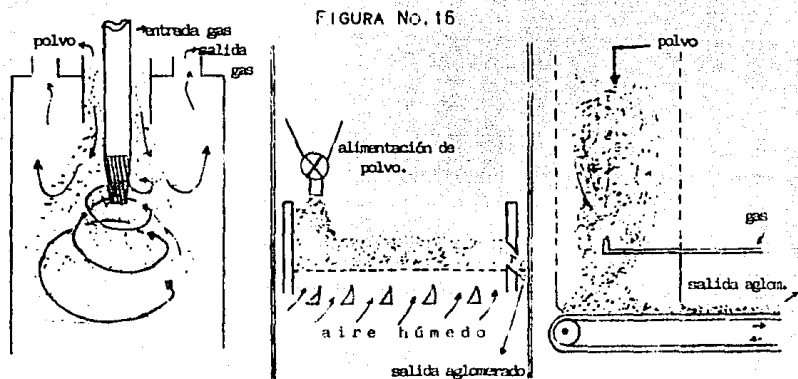
EXISTE TAMBIÉN LA POSIBILIDAD DE FAVORECER LA AGLOMERACIÓN DEL POLVO MEDIANTE EL CONTROL DE LAS CONDICIONES DE SALIDA DEL ALIMENTO DEL SECADOR; SI SE LOGRA QUE LA LECHE SALGA DE ESE PROCESO A UNA TEMPERATURA ENTRE 70 Y 800C Y CON UNA HUMEDAD ALREDEDOR DEL 8% (20), SE TENDRÁ ENTONCES UN ESTADO DE FUSIÓN TERMOPLÁSTICA DE LAS PROTEÍNAS QUE PROPORCIONA UNA UNIÓN MECÁNICAMENTE RESISTENTE DE LAS PARTÍCULAS DE POLVO Y QUE SE PUEDE COMBINAR CON CUALQUIERA DE LOS MÉTODOS DE AGLOMERACIÓN FUERA DEL SECADOR QUE SE DESCRIBEN A CONTINUACIÓN.

#### 1.2.2.2 TÉCNICAS DE AGLOMERACIÓN FUERA DEL SECADOR.

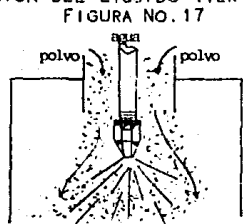
ESTE TIPO DE TÉCNICAS PUEDE AGRUPARSE EN TRES TIPOS BÁSICOS:

A) AGLOMERACIÓN POR VAPOR O AIRE HÚMEDO CALIENTE: SE PUEDE REALIZAR POR CUALQUIER FORMA QUE PERMITA EL CONTACTO, POR UN TIEMPO SUFICIENTEMENTE LARGO, DE LAS PARTÍCULAS DE POLVO ENTRE SÍ ESTANDO EN UNA ATMÓSFERA HÚMEDA GRACIAS AL VAPOR O AL AIRE. LA FIGURA NO. 16 MUESTRA ALGUNAS FORMAS DE CONSEGUIRLO. EL INCONVENIENTE DE ESTOS PROCESOS ES QUE LA HUMECTACIÓN DE LA PARTÍCULA NO ES HOMOGÉNEA Y EL AGLOMERADO PRESENTA UNA GRAN RIGIDEZ POR LO QUE LA REHIDRATACIÓN NO ES TAN RÁPIDA COMO LA LOGRADA POR OTROS MÉTODOS (15) (11), YA QUE SE ANULA LA POROSIDAD SUPERFICIAL QUE PUEDE PRESENTAR LA PARTÍCULA.

B) AGLOMERACIÓN POR MEDIO DE AGUA: ÉSTA ES LA TÉCNICA MÁS AMPLIAMENTE UTILIZADA TANTO POR SU BAJO COSTO COMO POR LA FACILIDAD DE-



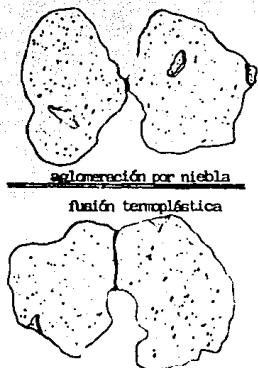
IMPLEMENTACIÓN Y LOS BUENOS RESULTADOS QUE OFRECE EN EL CAMPO DE LA INSTANTANIZACIÓN; REQUIERE SIMPLEMENTE DE LA INCORPORACIÓN DEL AGUA AL POLVO EN FORMA DE UNA FINÍSIMA NIEBLA LOGRADA POR ASPERSIÓN DEL LÍQUIDO (VER FIGURA No. 17). SIN PRESENTAR LOS INCONVENIENTES DEL USO DE GASES CALIENTES QUE INCLUSIVO PUEDE LLEGAR A CAUSAR DAÑO TÉRMICO QUE DISMINUYA AÚN MÁS SU REHIDRATABILIDAD, LA AGLOMERACIÓN POR AGUA NO SOLO CONSERVA LAS CALIDADES DEL POLVO SINO QUE, AL SECARSE RÁPIDAMENTE LA SUPERFICIE DE LAS PARTÍCULAS DEBIDO A QUE BUENA PARTE DE LA HUMEDAD DIFUNDE AL INTERIOR DE ESTAS, LA ESTRUCTURA INTERNA SE MANTIENE INTACTA (1). POR OTRO LADO, LOS AGLOMERADOS QUE SE CONSIGUEN CON ESTE PROCEDIMIENTO, SI BIEN NO SON MUY RESISTENTES AL DAÑO



MECÁNICO, SI SON FÁCILMENTE HUMECTADOS Y DISPERSOS DURANTE LA RECONSTITUCIÓN; ADEMÁS, LAS FUERZAS RESPONSABLES DE LA AGLOMERACIÓN SE INCREMENTAN SI EL POLVO ENTRA EN ESTADO DE TERMOPLASTICIDAD EN SUS PROTEÍNAS. LA FIGURA No. 18 ES UNA REPRESENTACIÓN DEL TIPO DE UNIÓN CONSEGUIDA POR NIEBLA Y POR TERMOPLASTICIDAD DONDE SE APPREHENDIÓ. COMO LA SEGUNDA OPCIÓN OFRECE UNA MAYOR ÁREA DE CONTACTO POR LO QUE ES CONVENIENTE EMPLEAR UNA AGLOMERACIÓN QUE COMBINE AMBAS

EL PORCENTAJE EN PESO DE AGUA A QUE SE PUEDE LLEGAR DURANTE LA AGLOMERACIÓN NO ES FIJO, AUNQUE SORENSSEN Y COLABORADORES (9) RECOMIENDAN NO EXCEDER EL 16% PARA EVITAR LA FORMACIÓN DE MONOGRÁNULOS QUE SE CARACTERIZAN POR LA BAJA FRACCIÓN DE ESPACIOS LIBRES Y

FIGURA NO. 18



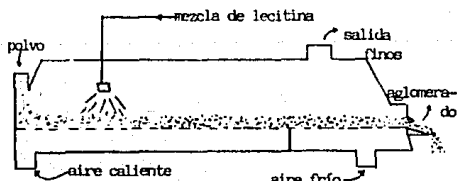
DIMENSIONES TAN GRANDES QUE SE DIFICULTA LA REHIDRATACIÓN DEL POLVO.

C) AGLOMERACIÓN CON OTROS LÍQUIDOS: ESTE TIPO DE TÉCNICAS DE AGLOMERACIÓN FUERA DEL SECADOR SE BASA EN EL MISMO PRINCIPIO QUE LA AGLOMERACIÓN POR NIEBLA, SOLAMENTE QUE EN ÉSTE CASO EL LÍQUIDO ESPREA DO NO ES AGUA SINO ALGÚN OTRO QUE PUEDA CUMPLIR LAS MISMAS FUNCIONES.

LA PATENTE U.S 4318932 DE SEPTIEMBRE DE 1981 (9), AMPARA UNA TÉCNICA EN LA QUE EL POLVO ENTRA A UNA CÁMARA DE MEZCLADO DEL TIPO MOSTRADO EN LA FIGURA NO. 17 DONDE UNA BOQUILLA ATOMIZA UNA EMULSIÓN DE GRASA BUTÍRICA EN AGUA Y DONDE LOS GLÓBULOS DE GRASA POSEEN UN DIÁMETRO INFERIOR A LAS 3 MICRAS, SIENDO ESTABILIZADA DICHA EMULSIÓN CON LECITINA DE SOYA; NO SE REPOR TAN DATOS EXPERIMENTALES.

OTRO TIPO DE TÉCNICAS EMPLEA ASÍ MISMO LA LECITINA AUNQUE EN UNA FORMA DIFERENTE. BALDWIN Y SANDERSON (23) EXPERIMENTARON ADICIONANDO LECITINA EN UNA MEZCLA CON GRASA BUTÍRICA EN PROPORCIÓN DE 2G/KG DE POLVO OBTENIENDO COMO CONCLUSIÓN QUE ÉSTE FOSFOLÍPIDO IMPARTE MEJORES CARACTERÍSTICAS DE REHIDRATACIÓN A LA LECHE QUE OTROS EMULSIFICANTES COMERCIALES COMO SPAN 80 O TWEEN 80 Y ASEGURA AL MISMO TIEMPO UNA MAYOR ESTABILIDAD EN LA LECHE YA RECONSTITUIDA. LOS MEJORES RESULTADOS SE OBTIENEN CALENTANDO EL POLVO MEDIANTE FLUIDIZACIÓN Y ESPREANDO DIRECTAMENTE LA MEZCLA SOBRE ÉSTE PARA SER POSTERIORMENTE SECADO Y ENFRIADO COMO SE MUESTRA EN LA FIGURA NO. 19.

FIGURA NO. 19



SCHULZ Y VOSS (24) EXPERIMENTARON ESPREANDO IGUALMENTE LECITINA EN MEZCLA CON GRASA BUTÍRICA DURANTE LA FLUIDIZACIÓN DEL ALIMENTO EN PROPORCIÓN DE 5.6:3.8 LECITINA/GRASA Y ADEMÁS REHUMECTÁNDOLO ANTES DE ELLO MEDIANTE LA ASPERSIÓN DE LECHE DESCREMADA EN RELACIÓN DE 2 A 3 G/100G DE POLVO. EL EQUIPO EMPLEADO ES SIMILAR AL DE REHUMECTACIÓN POR NIEBLA MIENTRAS QUE LA TEMPERATURA DE LA LECHE A LA SALIDA DEL SECADOR FUE DE 62 A 75°C CON HUMEDAD DE 5 A 8%. CON ESTE PROCESO SE OBTIENEN BUENOS RESULTADOS PUES EL ÍNDICE DE HUMECTABILIDAD REPORTADO ES DE 15 SEG CON DENSIDADES A GRANUL DE 290 A 370 KG/M3

-LO CUAL ES UN MUY BUEN RESULTADO CONSIDERANDO QUE EN GENERAL SE ACEPTA UNA DENSIDAD A GRAN ELNTE 300 Y 350 KG/M<sup>3</sup> COMO LA CARACTERÍSTICA DE UN POLVO INSTANTÁNEO (15). EN TANTO QUE EL PROMEDIO PARA LA LECHE ENTERA SIN UN PROCESO DE INSTANTANIZACIÓN VA DE 600 A 700 KG/M<sup>3</sup> (1) Y LA DE UNA PARTÍCULA INDIVIDUAL SIN UNA POROSIDAD ADECUADA PUEDE LLEGAR A LOS 1300 KG/M<sup>3</sup>. EL MÉTODO DESCRITO CON TEMPLA TAMBIÉN EL RETORNO DE LOS FINOS GENERADOS A LO LARGO DE TODO EL PROCESO A LA AGLOMERACIÓN CON LECHE DESCREHADA LO QUE ASEGURA LA HOMOGENIDAD EN TAMAOS DEL PRODUCTO. A CONTINUACIÓN, SE HARÁ LA REVISIÓN DE LOS PUNTOS IMPORTANTES DEL PROCESO DE SECADO Y ENFRIAMIENTO FINAL DEL POLVO POR FLUIDIZACIÓN QUE, COMO SE MENCIONÓ, CONSTITUYE LA SEGUNDA OPERACIÓN DE QUE CONSTA LA INSTANTANIZACIÓN; PARA COMENZAR, SE HARÁ REFERENCIA A LA TEORÍA GENERAL DE LA FLUIDIZACIÓN SUBRAYÁNDOSE LOS ASPECTOS DE IMPORTANCIA Y POSTERIOR MENTE SE ABORDARÁ EL ASPECTO TECNOLÓGICO DE LA APLICACIÓN INDUSTRIAL EN EL CASO PARTICULAR DE LA LECHE ENTERA.

### 1.2.3 LA TEORÍA DE LA FLUIDIZACIÓN.

LA FLUIDIZACIÓN CONVIERTE UN LECHO DE SÓLIDOS PARTICULADOS EN UNA MASA EXPANDIDA Y SUSPENDIDA POR UNA CORRIENTE TRANSVERSAL DE AIRE U OTRO GAS QUE TIENE MUCHAS DE LAS PROPIEDADES DE UN LÍQUIDO (14). DE ALLÍ QUE SE LE LLAME "FLUIDIZADO". ESTAS PROPIEDADES QUE ADQUIERE EL SÓLIDO SON UN ÁNGULO DE REPOSO CERO LA CAPACIDAD DE FLUIR A UNA DETERMINADA VELOCIDAD, ASUMIR LA FORMA DEL RECIPIENTE QUE LO CONTIENE, ETC., POR LO QUE LOS FENÓMENOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR TAMBIÉN SON DETERMINADOS POR ESTAS NUEVAS CARACTERÍSTICAS DEL SÓLIDO QUE HACEN DE LA FLUIDIZACIÓN UNA OPERACIÓN DE IMPORTANCIA EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA EN PROCESOS COMO LA CONGELACIÓN, PREENFRIAMIENTO Y ÉSTE DE AGLOMERACIÓN Y SECADO.

EL TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS SUCEPTIBLES DE FLUIDIZARSE VARÍA DESDE LOS POLVOS FINOS DE MENOS DE 1 MICRA HASTA LOS 5 CM APROXIMADAMENTE, SIENDO GENERALMENTE ACEPTADO QUE LAS PARTÍCULAS CON TAMAOS ENTRE 10 Y 150 MICRAS SON LAS MÁS ADECUADAS PARA UNA FLUIDIZACIÓN SUAVE AUN CUANDO LAS PARTÍCULAS MENORES A 20 MICRAS TIENDEN A FORMAR MASAS COMPACTAS QUE A PESAR DE ESTAR SECAS, REQUIEREN AGITACIÓN PARA EVITAR QUE EL AIRE ESCAPE ATRAVÉS DE FISURAS O CANALES INTERNOS (22); POR OTRA PARTE, LAS PARTÍCULAS MAYORES A 150 MICRAS TIENDEN A CAUSAR INESTABILIDAD EN EL PATRÓN HIDRODINÁMICO DE FLUIDIZACIÓN.

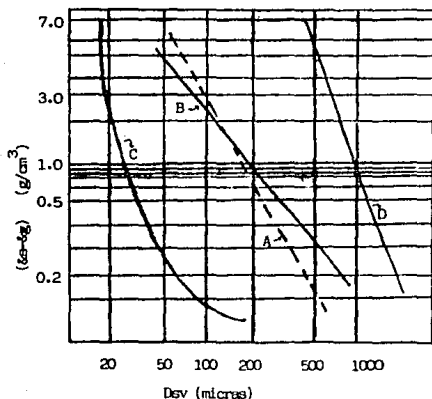
LA VELOCIDAD CON QUE ASCIENDE EL AIRE ATRAVÉS DEL LECHO VA DESDE 0.1 HASTA 6 M/SEG DEPENDIENDO DEL TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS Y DE LA ALTURA DEL LECHO. DADA LA DIFICULTAD PARA MEDIR LA VELOCIDAD DEL AIRE EN UN PUNTO LOCALIZADO DEL LECHO, AL HABLAR DE VELOCIDAD SE ESTÁ HACIENDO REFERENCIA A LA VELOCIDAD CON QUE INCIDE EL AIRE SOBRE EL AREA DE FLUJO Y QUE SE CONOCE COMO VELOCIDAD SUPERFICIAL (VM).

EL OTRO PARÁMETRO QUE CARACTERIZA A UN LECHO FLUIDIZADO ES -

LA CAÍDA DE PRESIÓN ( $\Delta PL$ ) QUE EXPERIMENTA EL AIRE AL ATRAVESAR LA MASA DE SÓLIDOS Y DEPENDE TANTO DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL POLVO, COMO DE LAS VARIABLES DE OPERACIÓN DEL PROCESO.

EXISTEN VARIAS CLASIFICACIONES DE LOS SÓLIDOS A FLUIDIZAR DE ACUERDO A SUS PROPIEDADES ESENCIALES DE PROCESO Y LAS CONDICIONES DEL GAS, COMO LA DE GELDART (22) QUIEN HA CARACTERIZADO CUATRO GRUPOS DIFERENTES DE PARTÍCULAS SÓLIDAS (VER FIGURA NO. 20). ESTA CLASIFICACIÓN SE BASA EN EL PROMEDIO DE LA RELACIÓN VOLUMEN/ÁREA (DSV) DE LA PARTÍCULA Y LA DIFERENCIA DE DENSIDADES ENTRE EL SÓLIDO ( $\&s$ ) Y EL GAS ( $\&g$ ). CUANDO EL AIRE ATRAVIESA UN LECHO DE PARTÍCULAS DE LOS TIPOS A, B O D, LA FRICCIÓN DEL MISMO CON EL SÓLIDO CAUSA LA CAÍDA DE PRESIÓN ( $\Delta PL$ ) CARACTERÍSTICA DE LA VELOCIDAD SUPERFICIAL A LA QUE CIRCULA EL AIRE, Y QUE SE INCREMENTA A MEDIDA QUE LA VELOCIDAD AUMENTA HASTA QUE EL VALOR DE  $\Delta PL$  MULTIPLICADO POR EL ÁREA DEL LECHO (A) IGUALA AL PESO DE LA MASA DE SÓLIDOS. EN ESE MOMENTO LAS PARTÍCULAS SE HALLAN SOMETIDAS A UNA FUERZA ASCENSIONAL IGUAL O LIGERAMENTE INFERIOR A LA FUERZA CON QUE LA GRAVEDAD ATRAE AL LECHO Y LA VELOCIDAD SUPERFICIAL EN ESE PUNTO CRÍTICO SE CONOCE COMO VELOCIDAD MÍNIMA DE FLUIDIZACIÓN (VMF); POR DEBAJO DE DICHA VELOCIDAD CRÍTICA EL PESO DE LA COLUMNA DE SÓLIDOS ES MAYOR QUE LA FUERZA ASCENSIONAL DEL AIRE Y SE DICE QUE EL LECHO ES DE TIPO FIJO O SUSPENDIDO Y TEÓRICAMENTE DEBERÁ CUMPLIRSE QUE:

FIGURA NO. 20



ZA CON QUE LA GRAVEDAD ATRAE AL LECHO Y LA VELOCIDAD SUPERFICIAL EN ESE PUNTO CRÍTICO SE CONOCE COMO VELOCIDAD MÍNIMA DE FLUIDIZACIÓN (VMF); POR DEBAJO DE DICHA VELOCIDAD CRÍTICA EL PESO DE LA COLUMNA DE SÓLIDOS ES MAYOR QUE LA FUERZA ASCENSIONAL DEL AIRE Y SE DICE QUE EL LECHO ES DE TIPO FIJO O SUSPENDIDO Y TEÓRICAMENTE DEBERÁ CUMPLIRSE QUE:

$$\Delta PL/L = (\&s - \&g)(1 - P)G/GC \text{ --- EC. 4}$$

DONDE:  $\Delta PL$ : CAÍDA DE PRESIÓN EN EL LECHO [ : ] KG/M<sup>2</sup>; L: ALTURA DEL LECHO [ : ] M;  $\&s$ : DENSIDAD DEL LECHO DE SÓLIDOS [ : ] KG/M<sup>3</sup>;  $\&g$ : DENSIDAD DEL AIRE [ : ] KG/M<sup>3</sup>; P: POROSIDAD [ADIM.]; G: ACELERACIÓN DE LA GRAVEDAD = 9.81 M/SEG<sup>2</sup>; GC: FACTOR DE CONVERSIÓN = 9.81 KG.M/KGF.SEG<sup>2</sup>. SIN EMBARGO, LA RELACIÓN ANTERIOR NO TOMA EN CUENTA FACTORES COMO LA FORMA DE LA PARTÍCULA, LA PÉRDIDA DE CARGA POR FRICCIÓN Y LA COMPRESIBILIDAD DEL AIRE AL ATRAVESAR EL LECHO. LEVA (25) DESARROLLÓ UNA RELACIÓN MATEMÁTICA QUE CORRIGE ESA SITUACIÓN:

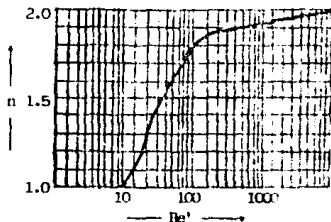
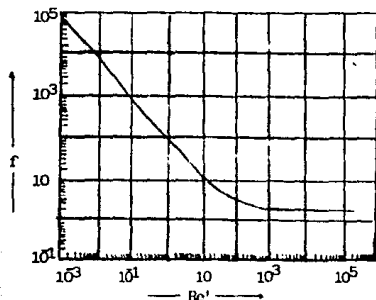
$$\Delta PL = 2F.G.L(1-P) / DP.GC.\&g.FS .P \text{ --- EC. 5}$$

DONDE: F: FACTOR DE FRICCIÓN (FUNCIÓN DE RE') [ADIM.]; RE': NO. REYNOLDS MODIFICADO =  $DP.G/V'$  [ADIM.]; G: MASA VELOCIDAD DEL AIRE [ : ]

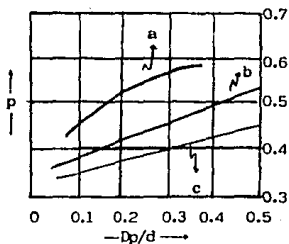
-KG/M<sup>2</sup>.SEG; DP=DIÁMETRO PROMEDIO DE PARTÍCULA (=)M; V'=VISCOSIDAD DEL AIRE (=)PA.SEG; N=EXPONENTE ADIMENSIONAL, FUNCIÓN DE RE'; FS=FACTOR DE FORMA DEL SÓLIDO, DEFINIDO COMO EL COCIENTE DEL ÁREA DE UNA ESFERA EQUIVALENTE AL VOLUMEN DE LA PARTÍCULA ENTRE LA SUPERFICIE DE LA PARTÍCULA; ÉSTE TÉRMINO ADIMENSIONAL SE CONOCE TAMBIÉN COMO LA ESFERICIDAD Y SE PUEDE CALCULAR MEDIANTE LA ECUACION 6:

$$FS = G(1-P)/DP.S \text{ --- EC. 6, DONDE } S = AP/VL \text{ --- EC. 7}$$

Y: AP=ÁREA DE LA PARTÍCULA (=)M<sup>2</sup>; VL=VOLUMEN DEL LECHO (=)M<sup>3</sup>. LAS FIGURAS NO.21 Y NO.22 MUESTRAN COMO SE DETERMINAN N Y P A PARTIR FIGURA NO.21



DE  $Re'$  Y EL CÁLCULO DE P A PARTIR DE  $DP$  Y  $D$  ( $D$ : DIÁMETRO DE LA COLUMNA (=)M), RESPECTIVAMENTE.  
FIGURA NO.22



- a- Gránulos irregulares.
- b- Esferas lisas uniformes.
- c- Esferas lisas de tamaños diversos.

d- Diámetro de la columna  
(=)m.

CUANDO SE ALCANZA LA VELOCIDAD MÍNIMA DE FLUIDIZACIÓN ( $V_{MF}$ ), EL LECHO SE COMPORTARÁ DE MANERA DIFERENTE, DEPENDIENDO DEL TIPO DE SÓLIDO QUE SE TRATE. A SI, LOS SÓLIDOS TIPO "A" SE EXPANDIRÁN UNIFORMEMENTE HASTA QUE A UNA CIERTA VELOCIDAD MAYOR COMIENCE LA FORMACIÓN DE BURBUJAS DE GAS EN EL SENO DEL LECHO; A DICHA VELOCIDAD SE LE CONOCE COMO VELOCIDAD MÍNIMA DE BURBUJEO. PARA LOS TIPOS "B" Y "C" LA VELOCIDAD MÍNIMA DE BURBUJEO ES PRÁCTICAMENTE IGUAL A  $V_{MF}$ , MIENTRAS QUE EL GRUPO "C" EXHIBE TENDENCIAS COHESIVAS QUE HACEN QUE EL GAS ESCAPE POR FISURAS DURANTE LA ETAPA DE LECHO SUSPENDIDO Y QUE AL ALCANZAR LA VELOCIDAD MÍNIMA DE FLUIDIZACIÓN E IRSE INCREMENTANDO  $V_M$  SE ABRAH

-CANALES EN EL INTERIOR DEL LECHO QUE FORMAN UNA RED DESDE LA BASE DEL MISMO HASTA LA SUPERFICIE, POR DONDE SALE EL AIRE; SI LOS CANALES MENCIONADOS NO SE FORMAN, EL LECHO COMPLETO SE LEVANTARA EN UN MOVIMIENTO DE "PISTONEO". SI SE INCREMENTA AUN MÁS LA VELOCIDAD SUPERFICIAL O SE PROPORCIONA AGITACIÓN O VIBRACIÓN AL LECHO LOS POLVOS DE TIPO "C" COMENZARAN A FLUIDIZAR.

AL TIPO DE PATRÓN HIDRODINAMICO QUE SE PRESENTA POR ARRIBA DE LA VELOCIDAD MÍNIMA DE FLUIDIZACIÓN (DESPUÉS DEL LECHO SUSPENDIDO) SE LE CONOCE COMO LECHO DE DESLIZAMIENTO Y ES CUANDO EXISTE LA FLUIDIZACIÓN PROPIAMENTE DICHA. EN EL CASO DE CUALQUIER SÓLIDO, SI LA VELOCIDAD DEL AIRE CONTINÚA AUMENTÁNDOSE, LA DENSIDAD DEL LECHO DISMINUYE Y LA TURBULENCIA SE INCREMENTA GRADUALMENTE CON LO QUE SE PRESENTAN SUCESIVAMENTE DIVERSOS PATRONES DE FLUIDIZACIÓN DIFÍCILES DE CARACTERIZAR O DE CORRELACIONAR MATEMÁTICAMENTE SUS VARIABLES DE PROCESO; POR EJEMPLO, LOS POLVOS DE DIÁMETROS PEQUEÑOS COMO LOS TIPO "C" Y "D" PRESENTAN BURBUJAS DE GAS QUE VAN DESDE EL DISTRIBUIDOR HASTA LA SUPERFICIE ASCIENDIENDO POR LAS PAREDES DEL EQUIPO, INCREMENTÁNDOSE SU TAMAÑO CON LA VELOCIDAD (27). AL SEGUIR AUMENTANDO V<sub>M</sub> DISMINUYEN LAS FLUCTUACIONES EN LA CAÍDA DE PRESIÓN Y SI ÉSTA TENDENCIA PERSISTE SE LLEGARÁ FINALMENTE A UNA SITUACIÓN EN QUE EL POLVO ES ARRASTRADO POR LA CORRIENTE EN UN TRANSPORTE NEUMÁTICO DE FASE DILUIDA.

LA VELOCIDAD MÍNIMA DE FLUIDIZACIÓN ES UNA DE LAS PROPIEDADES DEL SÓLIDO PARTICULADO; LA MEJOR MANERA DE CONOCER ESTE VALOR ES EN FORMA EMPÍRICA, UTILIZANDO EQUIPOS PEQUEÑOS AUNQUE EXISTEN CORRELACIONES MATEMÁTICAS PARA PREDECIRLA DE LAS CUALES LA DE BAEYENS-GELDART (22) ES UNA DE LAS MEJORES ESTABLECIENDO ÉSTA QUE:

$$VMF = 0.0009 \left( \frac{G}{G} \right) \left( \frac{DP}{V'} \right) \left( \frac{G}{G} \right) \quad \text{--- EC. 8}$$

ESTANDO LAS VARIABLES EN UNIDADES SI. LEVA (25) OBTIENE UNA CORRELACIÓN QUE ARROJA RESULTADOS SIMILARES AUNQUE LA MOSTRADA ES MÁS SIMPLE.

PARA DESCRIBIR EL COMPORTAMIENTO DE UN LECHO SOMETIDO A FLUIDIZACIÓN POR UNA CORRIENTE DE AIRE SE HACE USO DE UN DIAGRAMA DE FASES QUE PUEDE SER DE VARIOS TIPOS. UNO DE ÉSTOS DIAGRAMAS ES EL DE REH (26), BASADO EN LOS PARÁMETROS DE REYNOLDS DE LA PARTICULA, COEFICIENTE DE DESCARGA DEL AIRE, NÚMERO DE FROUDE Y NÚMERO DE ARQUÍMEDES. LOS DIAGRAMAS DE FASES DE YERUSHALMI-TURNER Y ZENZ-ÖTHER SON MUY SIMILARES ENTRE SÍ, SIENDO ÉSTE ÚLTIMO EL MÁS UTILIZADO; DICHO DIAGRAMA (FIGURA NO.23) GRAFICA LOS PARÁMETROS DE LOGARITMO DECIMAL DE LA CAÍDA DE PRESIÓN DEL LECHO DIVIDIDA POR SU ALTURA ANTES DE EXPANDERSE ( $\Delta P/L$ ) CONTRA EL LOGARITMO DE LA VELOCIDAD SUPERFICIAL (V<sub>M</sub>).

SI SE OBSERVA LA FIGURA NO.23 SE TIENE QUE DEL PUNTO 1 AL 2 NO EXISTE MOVIMIENTO DE PARTÍCULAS PRESENTÁNDOSE UN PATRÓN DE LE-

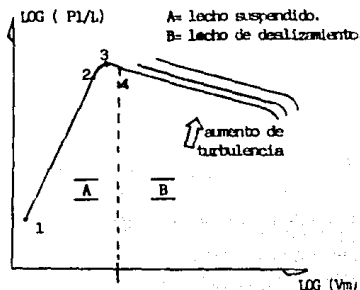


-CHO SUSPENDIDO, MIENTRAS QUE DE 2 A 3 EL LECHO LLEGA A UN MÁXIMO DE PÉRDIDA DE CONSISTENCIA Y DE POROSIDAD; EL INICIO DEL RÉGIMEN DE DESLIZAMIENTO SE DA EN EL PUNTO 4 CONOCIDO COMO PUNTO DE TURBULENCIA Y QUE CORRESPONDE A LA VELOCIDAD MÍNIMA DE FLUIDIZACIÓN. COMO SE VE, PUEDEN EXISTIR DIVERSOS PATRONES HIDRODINÁMICOS DE FLUIDIZACIÓN CARACTERIZADOS EN EL DIAGRAMA POR LAS LINEAS PARALELAS QUE IMPLICAN MAYORES CAÍDAS DE PRESIÓN EN EL LECHO Y EN LOS QUE LAS PARTÍCULAS ALCANZAN UNA ALTURA CADA VEZ MAYOR HASTA LLEGAR A LAS CONDICIONES DE TRANSPORTE EN FASE DILUIDA. EN LO QUE RESPECTA A LA CONSTRUCCIÓN DE LOS EQUIPOS DE FLUIDIZACIÓN, ÉSTA PUEDE VARIAR PERO MANTENIENDO SIEMPRE LOS SIGUIENTES ELEMENTOS:

A) DISTRIBUIDOR DE GAS: SU DISEÑO TIENE UN EFECTO DETERMINANTE EN LA OPERACIÓN DEL EQUIPO; BÁSICAMENTE SE PUEDEN CLASIFICAR EN 2 TIPOS: AQUELLOS PARA USARSE CUANDO EL GAS CONTIENE PARTICULAS SUSPENDIDAS Y AQUELLOS EN LOS CUALES EL GAS ENTRA LIMPIO AL EQUIPO, SIENDO ESTOS ÚLTIMOS LOS UTILIZADOS EN LA INSTANTANIZACIÓN DE LECHE ENTERA Y ESTANDO DISEÑADOS PARA IMPEDIR LA SALIDA DE LAS PARTÍCULAS DEL LECHO ATRAVÉS DE ELLOS.

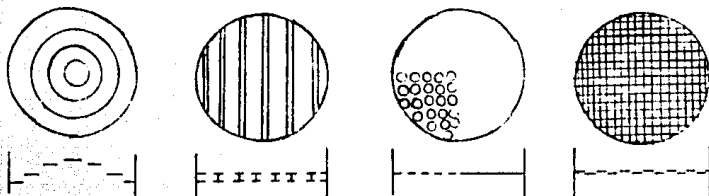
A FIN DE PROPORCIONAR UNA ADECUADA DISTRIBUCIÓN DEL GAS ATRAVÉS DEL LECHO ES NECESARIO QUE ÉSTE SUFRA UNA COMPRESIÓN LOGRADA CON LA RESTRICCIÓN A SU PASO POR EL DISTRIBUIDOR QUE SE MANIFIESTA CON UNA CAÍDA DE PRESIÓN ( $\Delta P_0$ ) QUE PUEDE IR DESDE 0.5 HASTA 20 KPA (2 A 80 INH<sub>2</sub>O), AUNQUE ES RARO EL PROCESO QUE REQUIERE DE MÁS DE 15 KPA (27). CIERTOS AUTORES RECOMIENDAN QUE  $\Delta P_0$  SEA AL MENOS DE UN 30% DEL  $\Delta P_L$  AL TIEMPO QUE OTROS SOSTIENEN QUE LO ANTERIOR ES VÁLIDO HASTA UN MÁXIMO DE 2.5 KPA COMO  $\Delta P_0$  A PESAR DE LO CUAL NO HAY UNA NORMA DADA LA VARIEDAD DE PROCESOS MANEJABLES POR FLUIDIZACIÓN.

EN LO QUE RESPECTA AL PERFIL DEL DISTRIBUIDOR, LA EXPERIENCIA DEMUESTRA QUE EL TIPO CÓNCAVO EN LA DIRECCIÓN DE FLUJO DEL GAS ES MEJOR QUE EL PLANO O EL CONCAVO EN LA DIRECCIÓN CONTRARIA YA QUE TIENDE A INCREMENTAR EL FLUJO DE GAS POR LA PARTE EXTERNA DEL LECHO CONTRARRESTANDO CON ELLO LA TENDENCIA NORMAL DEL GAS A FLUIR POR LA PARTE CENTRAL QUE PROPICIA LA ACUMULACIÓN DE SÓLIDOS HACIA LAS PAREDES DEL EQUIPO. LA FIGURA NO. 24 MUESTRA LA CARA Y EL PERFIL DE ALGUNOS DISTRIBUIDORES CUYO DISEÑO PUEDE SER TAN ESPECÍFICO COMO EL PROCESO LO REQUIERA. ESTRUCTURALMENTE, EL DISTRIBUIDOR



-DEBE TENER LA RESISTENCIA SUFICIENTE QUE LE PERMITA SOPORTAR EL PESO DEL LECHO ASÍ COMO LA SÚBITA SOBREPRESIÓN QUE OCURRE DURANTE EL ARRANQUE, POR LO QUE EN GENERAL SE TRATA DE ELEMENTOS METÁLICOS (ACERO INOXIDABLE EN ALIMENTOS); TAMBIÉN ES DESEABLE LA RESISTENCIA A ALTAS Y BAJAS TEMPERATURAS.

FIGURA No. 24



B) CÁMARA DE DISTRIBUCIÓN: ÉSTE ELEMENTO ES MUY SIMPLE Y CONSISTE ÚNICAMENTE DEL ESPACIO VACÍO EN LA PARTE INFERIOR DEL DISTRIBUIDOR QUE SIRVE PARA PROPORCIONAR UNA PRESIÓN HOMOGÉNEA EN TODA EL ÁREA DE FLUJO.

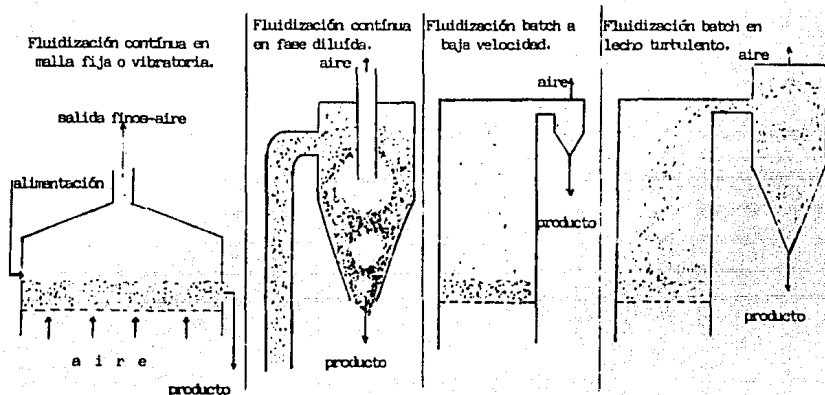
C) ZONA DE SEPARACIÓN DEL SÓLIDO: SE TRATA DE LA DISTANCIA QUE EXISTE ENTRE LA PARTE SUPERIOR DEL LECHO Y EL CONDUCTO DE SALIDA DE EL GAS DEL EQUIPO. A MEDIDA QUE  $V_M$  SE INCREMENTA ÉSTE ESPACIO DISMINUYE Y, EN EL CASO DE LOS POLVOS, ES AQUÍ DONDE SE EFECTÚA UNA SEPARACIÓN DE LOS FINOS QUE NO ALCANZAN A RETORNAR A LA SUPERFICIE DEL LECHO Y SON ARRASTRADOS POR LA CORRIENTE DE GAS; LO ANTERIOR FUNCIONA COMO UNA PRIMERA SELECCIÓN POR TAMAÑOS DEL PRODUCTO DEBIENDO SER SEPARADOS LOS FINOS DE LA CORRIENTE DE GAS POR ALGÚN EQUIPO QUE PERMITA RECUPERARLOS PARA RETORNARLOS A ALGÚN OTRO SITIO DEL PROCESO. EN LA SUPERFICIE DEL LECHO SE DA EL FENÓMENO QUE GENERA LA SEPARACIÓN DE LOS FINOS Y QUE PROPORCIONA A LA MASA DE PRODUCTO EL MOVIMIENTO CARACTERÍSTICO DE LOS LECHOS FLUIDIZADOS; ÉSTE CONSISTE EN QUE AL SALIR EL GAS POR LA PARTE SUPERIOR DEL LECHO, CAUSA UN ROMPIMIENTO DE LAS CAPAS SUPERFICIALES DEL MISMO QUE FORMA UNA ESPECIE DE "CRÁTER" QUE TIENDE A SER RELLENADO NUEVAMENTE POR LAS PARTÍCULAS EN MOVIMIENTO. CUANDO ÉSTAS PARTÍCULAS LLEGAN A LA PARTE CENTRAL DEL "CRÁTER", SON FUERTEMENTE RECHAZADAS POR EL AIRE QUE ESCAPA IMPULSÁNDOLAS HACIA ARRIBA; ENTRA ENTONCES EN JUEGO UN MECANISMO DE FUERZAS ASCENSIONALES Y DE GRAVEDAD QUE FINALMENTE LOGRA QUE LAS PARTÍCULAS MAYORES Y MAS DENSAS RETORNEN A LA SUPERFICIE DEL LECHO MIENTRAS QUE LAS PEQUEÑAS SON ARRASTRADAS. LA FRACCIÓN DE MASA DE SÓLIDOS QUE ARRASTRA CONSIGO EL GAS (E) PUEDE SER CALCULADA TEÓRICAMENTE (27) POR MEDIO DE:

$E = 0.154(V_M^2/G \cdot Z) \{ 1.53 D_0.75 (V'/V'0) \} 1.78 (1/\rho_s) \{ 2.5 (1/V_M F) \} 1.5 - EC. 9$   
 DONDE Z ES LA ALTURA DE LA ZONA DE SEPARACIÓN DEL SÓLIDO, D EL DIÁMETRO DE LA COLUMNA Y  $V'0$  LA VISCOSIDAD DEL AIRE @ 250C.

D) CUERPO DEL FLUIDIZADOR: SE REFIERE AL EQUIPO DE FLUIDIZACIÓN EN SÍ, DENTRO DEL CUAL SE HALLA EL PRODUCTO; LA FORMA MAS COMÚN ES LA DE UN CILINDRO VERTICAL O COLUMNA, PERO EXISTEN MUCHOS DISEÑOS DE

-PENDIENDO DEL PATRÓN DE FLUIDIZACIÓN, ESTO ES, DE LA RELACIÓN ENTRE LA VELOCIDAD SUPERFICIAL Y LA CAÍDA DE PRESIÓN DEL LECHO. LA FIGURA NO.25 MUESTRA ALGUNOS DISEÑOS:

FIGURA NO.25



EL ÁREA DE FLUJO ESTÁ DETERMINADA POR LA MASA VELOCIDAD DE GAS REQUERIDA AL TIEMPO QUE LA ALTURA ES FUNCIÓN DEL ESPACIO LIBRE PARA LA SEPARACIÓN DEL POLVO Y DEL ESPESOR DE LECHO; ESTE ÚLTIMO PARÁMETRO ES FUNCIÓN DE OTROS COMO EL TIEMPO DE CONTACTO ENTRE SÓLIDO Y GAS, EL TIPO DE OPERACIÓN (BATCH O CONTINUA), EL NÚMERO DE ETAPAS DE PROCESO, ETC. EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA ES BASTANTE COMÚN EL EMPLEO DE LECHOS EXTENDIDOS DONDE UNA BANDA METÁLICA PERFORADA O UNA MALLA VIBRATORIA ACTÚAN A MANERA DE DISTRIBUIDOR DE GAS Y PROPORCIONAN UN MOVIMIENTO ADICIONAL AL PRODUCTO QUE PERMITE DIVIDIR AL PROCESO EN VARIAS ETAPAS PARA EL MANEJO DE DIFERENTES CONDICIONES DEL AIRE COMO VELOCIDAD Y TEMPERATURA.

DEBIDO A QUE EN LA MAYORÍA DE LOS CASOS SE TRABAJA A TEMPERATURAS MUY DIFERENTES DE LA AMBIENTE ES NECESARIO CONTAR CON UN AISLAMIENTO TÉRMICO QUE EVITE PÉRDIDAS DE ENERGÍA O ENTRADAS DE CALOR ATRAVÉS DE LAS PAREDES. POR LO QUE TOCA A LA TRANSFERENCIA DE CALOR EN ESTOS PROCESOS, SE TIENE QUE AUNQUE LOS COEFICIENTES GLOBALES DESDE EL GAS HACIA EL SÓLIDO SON BAJOS (DEL ORDEN DE 6 A 20 J/M<sup>2</sup>.SEG.K), LA GRAN ÁREA DE TRANSFERENCIA PRESENTADA POR LAS PARTÍCULAS POR UNIDAD DE VOLUMEN (5000M<sup>2</sup>/M<sup>3</sup> PARA ESFERAS DE 60 MICRAS CON DENSIDAD A GRANDEL DE 600 KG/M<sup>3</sup>, POR EJEMPLO) (22) DAN COMO RESULTADO UNA EFICIENTE TRANSFERENCIA DE ENERGÍA POR LO QUE LA

TEMPERATURA DEL AIRE Y LA DEL SÓLIDO TIENDEN A IGUALARSE RÁPIDAMENTE; CON RESPECTO A ESTO ÚLTIMO SE HA ENCONTRADO QUE LAS TEMPERATURAS SE IGUALAN POR LO GENERAL A UNA ALTURA ENTRE 2 Y 6 CM DEL DISTRIBUIDOR DE GAS (4). UNA VENTAJA ADICIONAL QUE BRINDAN ESTOS PROCESOS ES EL HECHO DE QUE EXISTE UNA DISTRIBUCIÓN DE TEMPERATURAS EN EL LECHO BASTANTE UNIFORME, SIENDO ÚNICAMENTE EN LOS CASOS EXTREMOS DE RELACIONES ALTURA/DIÁMETRO DE LECHO DEMASIADO GRANDES O PEQUEÑAS QUE SE PRESENTAN DIFERENCIAS MAYORES A LOS 50C ENTRE UN PUNTO Y OTRO (25). LA EXPLICACIÓN A LOS BAJOS COEFICIENTES DE TRANSFERENCIA DE CALOR SE HALLA EN EL HECHO DE QUE AL SER ELEVADA POR UNA CORRIENTE DE GAS QUE LE CEDE CALOR, LA PARTÍCULA TIENE UNA VELOCIDAD RELATIVA CON RESPECTO AL AIRE BASTANTE BAJA CON LO QUE SE REDUCE SIGNIFICATIVAMENTE EL VALOR DE EL COEFICIENTE CONVECTIVO DE TRANSFERENCIA DE CALOR, AUNQUE COMO SE HA DICHO EL AREA ESPECÍFICA DEL CONJUNTO DE PARTÍCULAS COMPENSA SOBRADEMENTE ESTO.

UNA CARACTERÍSTICA MÁS QUE HACE EFICIENTE TÉRMICAMENTE A UN LECHO FLUIDIZADO ES LA VELOCIDAD CON QUE EL SÓLIDO SE MUEVE DE UN PUNTO A OTRO Y QUE HACE QUE PARA EFECTOS PRÁCTICOS TODO EQUIPO CON RELACIÓN ALTURA/DIÁMETRO ENTRE 0,1 Y 4 SEA EXCELENTE EN LO CONCERNIENTE A LA MEZCLA DE PARTÍCULAS DURANTE EL PROCESO (26).

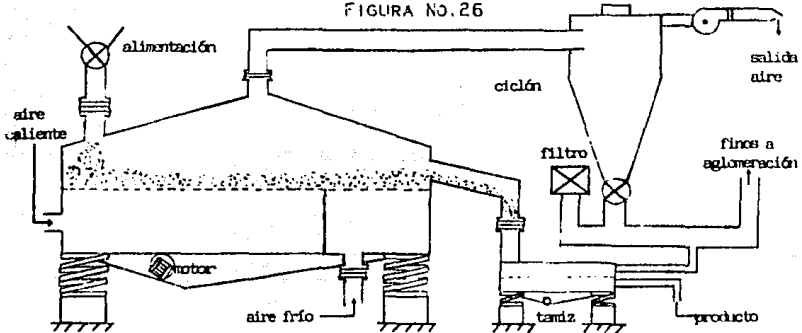
AL FLUIDIZAR PARTÍCULAS CUYO TAMAÑO REQUIERE SER CONSERVADO COMO ES EL CASO DE LA LECHE EN POLVO AGLOMERADA, HAY QUE TOMAR EN CUENTA AL ESTABLECER LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN QUE EXISTEN 3 MECANISMOS MEDIANTE LOS CUALES EL PRODUCTO PUEDE SUFRIR UNA REDUCCIÓN DE TAMAÑO QUE SON: POR ABRASIÓN, POR IMPACTO ENTRE PARTÍCULAS O ENTRE PARTÍCULAS Y LAS PAREDES Y POR SUCCEPTIBILIDAD TÉRMICA; DE EL PRIMER MECANISMO SE PUEDE MENCIONAR QUE POR LO GENERAL LA ABRASIÓN CAUSA POCO DETERIORO A LA LECHE EN POLVO, SIENDO CRÍTICOS LOS OTROS DOS. EL IMPACTO PRODUCE FRACTURAS QUE DISGREGAN AL SÓLIDO O LO HACEN MECÁNICAMENTE FRÁGIL AL CAUSARLE FIGURAS EN LA ESTRUCTURA, SIENDO LAS ZONAS DE CIRCULACIÓN DE AIRE A ALTA VELOCIDAD LAS QUE PROYECTAN CON MÁS FUERZA A LA PARTÍCULA POR LO QUE SE DEBE EVITAR ESTE TIPO PATRONES HIDRODINÁMICOS. EN EL CASO DE LOS ALIMENTOS ES EL 3ER MECANISMO UNO DE LOS QUE MÁS AFECTAN AL PRODUCTO YA QUE EN OCASIONES SE PONE POCO CUIDADO EN EVITAR LA DESHIDRATACIÓN EXCESIVA DEL GRÁNULO QUE LO HACE FRÁGIL RESTÁNDOLE ELASTICIDAD O BIEN, QUE PROMUEVE REACCIONES QUÍMICAS INDESEABLES QUE ADEMÁS IMPOSIBILITAN LA REHIDRATACIÓN.

PARA SECAR UN POLVO POR FLUIDIZACIÓN, ES POSIBLE OPERAR DENTRO DE LA ZONA DE LECHO FIJO A VELOCIDADES SUPERFICIALES DEL ORDEN DE 0.8 A 0.9 VECES LA VELOCIDAD MÍNIMA DE FLUIDIZACIÓN O BIEN EFECTUAR LA OPERACIÓN EN UN LECHO DE DESLIZAMIENTO DONDE  $V_m$  ESTÁ DETERMINADO POR VARIABLES COMO LA TEMPERATURA DEL AIRE, EL TIEMPO DE RESIDENCIA Y LA DISTRIBUCIÓN DE TAMAÑOS DEL PRODUCTO. A CONTINUACIÓN SE DESCRIBE EL PROCESO DE FLUIDIZACIÓN EN EL CASO ESPECÍFICO DE LA LECHE ENTERA EN POLVO YA AGLOMERADA Y QUE COMO SE DIJO TIENE EL PROPÓSITO DE ESTABILIZAR HUMEDAD Y ENFRIAR EL ALIMENTO.

### 1.2.4 LA TECNICA DE FLUIDIZACION DE LECHE ENTERA EN POLVO.

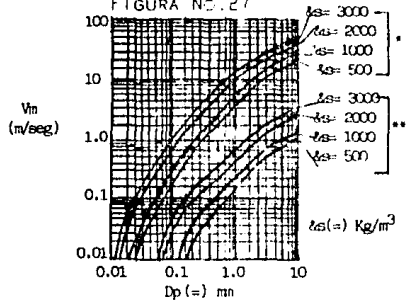
LA INSTALACION EMPLEADA PRACTICAMENTE POR LA TOTALIDAD DE LA INDUSTRIA PARA LA FLUIDIZACION SE PRESENTA EN LA FIGURA NO.26; EL EQUIPO CONSTA DE UNA MALLA O PLANCHA METALICA PERFORADA QUE ACTUA COMO DISTRIBUIDOR DEL AIRE Y QUE POSEE UN MOVIMIENTO VIBRATORIO PROPOCIONADO POR UN MOTOR EXCENTRICO CON LA FINALIDAD DE EVITAR LA FORMACION DE AGLOMERADOS DEMASIADO GRANDES Y AYUDAR AL CONTROL

FIGURA NO.26



DEL TIEMPO DE PROCESO HACIENDO AVANZAR EL LECHE: LA FRECUENCIA DE DICHAS VIBRACIONES SE UBICA ENTRE 20 Y 70 HZ, CON AMPLITUD ENTRE 0.2 Y 0.35MM DEPENDIENDO DEL ESPESOR DE LECHE Y LA VELOCIDAD DEL AIRE. LA FIGURA NO.27 PRESENTA UNA GRAFICA QUE RELACIONA EL DIAMETRO PROMEDIO DE LA PARTÍCULA ( $D_p$ ) CON LA VELOCIDAD SUPERFICIAL ( $V_m$ ) Y SU DENSIDAD ( $\rho_s$ ) EN LA FLUIDIZACION CON AIRE A 1000C (1). LAS DIMENSIONES DE LA MALLA PUEDEN SER HASTA DE 1M DE ANCHO POR 10M DE LARGO Y PARA ASEGURAR UNA DISTRIBUCION HOMOGENEA DEL AIRE SE RECOMIENDA QUE  $\Delta P_d$  SE HALLE ENTRE 1 Y 2 KPA, DEPENDIENDO DEL ESPESOR DE LECHE, MISMO QUE A SU VEZ FLUCTUA ENTRE 50 Y 300 MM (20).

AL HABLAR DE LA TEMPERATURA DE EL AIRE DE SECADO O DE ENFRIAMIENTO ES NECESARIO REFERIRLA



\*\*Velocidad a la que el lecho empieza a expandirse

\*Velocidad mínima de fluidización ( $V_{mf}$ ).

-A LA HUMEDAD DEL PRODUCTO, A LA VELOCIDAD DEL AIRE Y EL ESPESOR DEL LECHO PERO USUALMENTE SE TIENEN 1000C PARA EL SECADO DEL PRODUCTO CON HUMEDAD DE 12% A LA ENTRADA DEL PROCESO Y VELOCIDAD DE 0.2 A 5 M/SEG SI EL DIÁMETRO DEL GRÁNULO OSCILA ALREDEDOR DE 1MM, PARA FINALIZAR ENFRIANDO CON AIRE A 150C PARA QUE EL ALIMENTO LLEGUE A ENVASADO CON 2 A 4% DE HUMEDAD RESIDUAL. SIGUIENDO ESTAS RECOMENDACIONES, SE REPORTAN (1), (10), (11) BUENAS CUALIDADES INSTANTÁNEAS Y CONSERVACIÓN DEL ALIMENTO HASTA POR 2 AÑOS EN UNA ATMÓSFERA DONDE LA CONCENTRACIÓN VOLUMÉTRICA DE OXÍGENO NO SUPERE EL 1% (9), (11), (15).

LA FLUIDIZACIÓN PUEDE REALIZARSE EN MÁS DE 2 ETAPAS Y VARIAN DO LAS CONDICIONES MENCIONADAS; BURYKIN Y MALYUKOV (28) OBTUVIERON BUENOS RESULTADOS (HUMECTABILIDAD DE 40 SEG Y BUENA DISPERSIBILIDAD) INCREMENTANDO EL DIÁMETRO DE PARTÍCULA DURANTE LA AGLOMERACIÓN HASTA 0.5MM PROMEDIO, REHUMECTANDO CON NIEBLA HASTA 8% EN PESO. LA VELOCIDAD DEL AIRE A 850C FUÉ DE 0.21 A 0.27 M/SEG OBTENIENDO UN PATRÓN HIDRODINÁMICO DE FASE AGREGATIVA (FLUIDIZACIÓN A BAJA VELOCIDAD); ESTOS RESULTADOS DESTACAN LA IMPORTANCIA DE LA COMBINACIÓN ADECUADA DE TODOS LOS FACTORES MENCIONADOS YA QUE AUNQUE EL DIÁMETRO DE PARTÍCULA SEA INFERIOR AL RECOMENDADO, LAS PROPIEDADES FINALES DEL POLVO SON SATISFACTORIAS. ESOS MISMOS AUTORES FLUIDIZARON ADEMÁS PARTÍCULAS ENTRE 0.7 Y 1MM AGLOMERADAS DE LA MISMA FORMA HASTA 8% DE HUMEDAD CON AIRE A 0.5 M/SEG CON LO QUE EL PATRÓN HIDRODINÁMICO NO FUÉ MUY ESTABLE Y NO SE LOGRARON TAN BUENOS RESULTADOS LO QUE REFUERZA LA OBSERVACIÓN HECHA DE CONJUNTAR ADECUADAMENTE TODOS LOS FACTORES.

OTRA EXPERIMENTACIÓN (24) HIZO USO DE DOS ETAPAS DE SECADO Y UNA DE ENFRIAMIENTO AGLOMERANDO A SU VEZ EN DOS OCASIONES EL POLVO, PRIMERO CON LECHE DESCREMADA HASTA HUMEDAD DEL 9% Y DESPUÉS CON LECITINA/GRASA Y SECANDO A 75 Y 500C EN CADA ETAPA PARA QUE FINALMENTE EL POLVO CON 3.5% DE HUMEDAD SE ENFRÍE CON AIRE A 9 CM /SEG HASTA 250C. EL PRODUCTO FINAL MUESTRA BUENAS CUALIDADES INSTANTÁNEAS Y DENSIDAD A GRANULOS DE 320 KG/M3 DE LO QUE DESTACA QUE ES IMPORTANTE ENFRIAR RÁPIDAMENTE EL PRODUCTO POR ABAJO DE 300C A FIN DE EVITAR LA FORMACIÓN DE GRASA LIBRE QUE AÚN EN PEQUEÑAS CANTIDADES DIFICULTA LA RECONSTITUCIÓN.

OTRAS INVESTIGACIONES REPORTADAS (9), (29) DESTACAN FACTORES COMO LA RELACIÓN TEMPERATURA/HUMEDAD Y LA DISTRIBUCIÓN DE TAMAÑOS COMO DETERMINANTES EN LAS CUALIDADES INSTANTÁNEAS DE LA LECHE.

AL HABERSE PRODUCIDO LA AGLOMERACIÓN POR UN PROCESO DE REABSORCIÓN DE HUMEDAD, ES MUY DIFÍCIL ESTABLECER RELACIONES TEÓRICAS ACERCA DEL TIEMPO DE SECADO DURANTE LA FLUIDIZACIÓN; SIN EMBARGO, EL ENFRIAMIENTO INVOLUCRA SOLAMENTE LA TRANSFERENCIA DE CALOR SENSIBLE POR LO QUE ES POSIBLE ESTABLECER UNA RELACIÓN MATEMÁTICA PARA LA DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DEL PROCESO AUMIENDO QUE AL FINAL

-DEL MISMO EL CALOR TRANSMITIDO DEL SÓLIDO AL GAS ES IGUAL AL CALOR REMOVIDO DE AQUEL Y QUE LA CAPACIDAD CALORÍFICA DEL ALIMENTO SE MANTIENE CONSTANTE EN EL RANGO DE TEMPERATURAS MANEJADAS, LO CUAL ES UNA BUENA APROXIMACIÓN A LA REALIDAD, ASÍ TENEMOS QUE:

$$T \cdot (\rho_s \cdot L \cdot C_{ps} + \rho_g \cdot V_m \cdot C_{pg}) \ln \left( \frac{T_{is} - T_{ig}}{T_{fs} - T_{fg}} \right) = EC \cdot 10$$

DONDE  $\rho_s$  ES LA DENSIDAD A GRANULOS DEL SÓLIDO,  $C_{ps}$  LA CAPACIDAD CALORÍFICA DEL SÓLIDO,  $C_{pg}$  LA CAPACIDAD CALORÍFICA DEL GAS,  $T_{is}$  ES LA TEMPERATURA INICIAL DEL SÓLIDO,  $T_{ig}$  ES LA TEMPERATURA INICIAL DEL GAS,  $T_{fs}$  LA TEMPERATURA FINAL DEL SÓLIDO Y  $T_{fg}$  LA TEMPERATURA FINAL DEL GAS.

UNA VEZ REVISADOS LO REFERENTE A LA INSTANTANIZACIÓN EN SUS ASPECTOS TÉCNICOS Y TEÓRICOS MÁS IMPORTANTES, SE PASARÁ A LA TERCERA PARTE DE ESTE CAPÍTULO DONDE SE ABORDAN LAS CONSECUENCIAS DEL DETERIORO TÉRMICO DEL ALIMENTO EN CUANTO A LAS CUALIDADES INSTANTÁNEAS DEL PRODUCTO TERMINADO.

### 1.3 EFECTOS NOCIVOS DE UN TRATAMIENTO TÉRMICO INADECUADO.

EL CUADRO NO. 1 MUESTRA LOS PRINCIPALES CONSTITUYENTES DE LA LECHE ENTERA DE VACA DONDE SE PUEDE APRECIAR LA DIVERSIDAD DE LOS MISMOS QUE HACEN DE ESTE UN ALIMENTO COMPLETO. AL SER SOMETIDA A DIVERSOS TRATAMIENTOS TÉRMICOS PARA SU CONSERVACIÓN COMO LECHE EN POLVO, OCURREN DIVERSAS REACCIONES QUE PUEDEN Y DEBEN SER MINIMIZADAS PARA QUE EL ALIMENTO CONSERVE SUS CUALIDADES NUTRITIVAS O DE OTRO TIPO COMO LA QUE EN ESTE CASO SE TRATA QUE ES LA POSIBILIDAD DE UNA RÁPIDA REHIDRATACIÓN.

ES SABIDO QUE LA VELOCIDAD CON QUE TRANSCURRE UNA REACCIÓN QUÍMICA DETERMINADA ES FUNCIÓN DE DIVERSOS PARÁMETROS COMO LA CONCENTRACIÓN DE REACTANTES, PRESENCIA DE CATALIZADORES Y MUY ESPECIALMENTE DE LA TEMPERATURA; EN EL CASO DE LA LECHE ENTERA Y EN EL DE TODOS LOS ALIMENTOS SOMETIDOS A UN TRATAMIENTO TÉRMICO, ES LA RELACIÓN EXISTENTE ENTRE LA TEMPERATURA Y EL TIEMPO DE EXPOSICIÓN DEL ALIMENTO A ELLA LO QUE DETERMINA LA MAGNITUD DEL DAÑO QUE PUEDE SUFRIR UNO O VARIOS CONSTITUYENTES QUÍMICOS DEL MISMO. ASÍ SE TIENE QUE EL AUMENTO O EL SOSTENIMIENTO DE UNA TEMPERATURA ACELERARÁ LA VELOCIDAD CON QUE OCURREN LAS REACCIONES DE DEGRADACIÓN.

ALGUNAS DE ESAS REACCIONES DE DEGRADACIÓN SE ILUSTRAN EN LA FIGURA NO. 28 EN FORMA DE GRÁFICA DONDE ADEMÁS SE SEÑALAN LAS ZONAS CORRESPONDIENTES A TRATAMIENTOS TÉRMICOS TAN IMPORTANTES COMO LA PASTEURIZACIÓN EN DIVERSAS MODALIDADES.

A CONTINUACIÓN, SE DESCRIBEN LOS PRINCIPALES DAÑOS TÉRMICOS QUE PUEDEN SUFRIR LAS DIVERSAS FRACCIONES QUÍMICAS Y LA MANERA EN QUE AFECTAN LAS PROPIEDADES DEL ALIMENTO:

A) DAÑOS A LAS PROTEÍNAS: ESTE GRUPO DE MOLÉCULAS ES MUY IN-

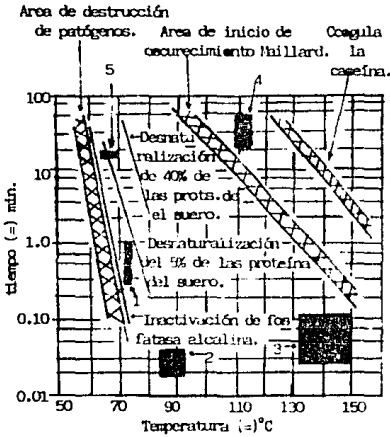
CUADRO NO. 1

COMPONENTE (POR C/100G)	MEDIA	RANGO	UNIDAD
AGUA	87.5	86.8/88.3	G
PROTEÍNA	3.33	3.08/3.7	G
GRASA	3.78	3.60/3.88	G
CARBOHIDRATOS	4.65	4.50/4.92	G
MINERALES	0.74	0.67/0.81	G
SODIO	49	40/58	MG
POTASIO	157	144/178	MG
MAGNESIO	12	9/16	MG
CALCIO	120	107/133	MG
MANGANESO	2.5	1.3/4	MG
HIERRO	46	30/7	MG
CORALTO	0.08	0.05/0.13	MG
COBRE	0.10	0.03/0.30	MG
ZINC	0.38	0.21/0.55	MG
FOSFORO	0.22	0.13/0.2	MG
FLUOR	17	11/21	MG
CLORO	102	90/106	MG
YODO	3.7	2.5/5.5	MG
VITAMINA A	30	27/34	MG
CAROTENOS	18	14/22	MG
VITAMINA D	0.06	0.02/0.09	MG
VITAMINA E	89	41/100	MG
VITAMINA K	17	10/33	MG
VITAMINA B1	3.7	3.0/5.5	MG
VITAMINA B2	0.35	0.14/0.5	MG
NICOTINAMIDA	0.9	0.70/1.00	MG
ACIDO PANTOTÉNICO	0.35	0.28/0.42	MG
VITAMINA B6	4.4	2.9/7.0	MG
BIOTINA	3.3	2.0/5.5	MG
ACIDO FÓLICO	0.4	0.2/0.7	MG
VITAMINA B12	0.4	0.1/0.7	MG
VITAMINA C	0.21	0.1/0.25	MG
ISOLEUCINA	0.35	0.3/0.5	MG
LEUCINA	0.35	0.3/0.5	MG
VALINA	0.35	0.3/0.5	MG
METIONINA	0.08	0.05/0.09	MG
CISTINA	0.026	0.01/0.03	MG
FENILALANINA	0.017	0.01/0.02	MG
TIROSINA	0.017	0.01/0.02	MG
TREONINA	0.015	0.01/0.02	MG
TRIPTOFANO	0.046	0.04/0.05	MG
LISINA	0.026	0.02/0.028	MG
HISTIDINA	0.08	0.08/0.11	MG
ARGININA	0.12	0.11/0.14	MG
LACTOSA	4.54	4.35/4.8	MG
CASEÍNA	2.66	2.45/3	MG
ACIDO LINOLÉICO	97	78/120	MG
ACIDO LINOLÉNICO	25	21/32	MG
ALBÚMINA GLOBULINA	0.51	0.45/0.68	G
NITRÓGENO RESIDUAL	32	25/47	MG
COLESTEROL	12.3	10/14.8	MG
ACIDO CÍTRICO	0.21	0.17/0.29	G



-PORTANTE TANTO DESDE EL PUNTO DE VISTA NUTRICIONAL COMO DE LAS PROPIEDADES DE RECONSTITUCIÓN DEL PRODUCTO FINAL. EN GENERAL, LAS PROTEÍNAS DEL SUERO (LACTOALBÚMINA, LACTOGLOBULINA E INMUNOGLOBULINA) PUEDEN RESULTAR DESNATURALIZADAS AÚN A TEMPERATURAS TAN BAJAS COMO 65°C; COMO SE SABE, LA

FIGURA NO.28



- 1.- Pasteurización por corto tiempo.
- 2.- Pasteurización a alta temperatura.
- 3.- Tratamiento U.H.T.
- 4.- Esterilización.
- 5.- Pasteurización batch.

COMPUESTOS SULFUROSOS REDUCTORES -COMO LOS GRUPOS SULFHIDRIL- SE MALADOS COMO RESPONSABLES DEL SABOR "A COCIDO" Y QUE ADemás PROPICIAN LA FORMACIÓN DE SULFURO DE HIDRÓGENO QUE IMPARTE UN OLOR Y SABOR SUMAMENTE DESAGRADABLE AL PRODUCTO. LA FUENTE PRINCIPAL DE GRUPOS SULFHIDRIL POR TEMPERATURA ES LA  $\beta$ -LACTOGLOBULINA (11), QUE ADemás PUEDE REACCIONAR CON LA K-CASEÍNA PRODUCIENDO COMPLEJOS ALTAMENTE INSOLUBLES EN AGUA.

EN LO REFERENTE A LOS AMINOÁCIDOS Y EL EFECTO DEL CALOR EN ELLOS, SE TIENE QUE SE VEN LIGERAMENTE AFECTADOS, SIENDO EL MAS DAÑADO LA LISINA AUNQUE A ESTE RESPECTO NO HA SIDO ESTABLECIDO SI LA PÉRDIDA SE DEBE EN FORMA DIRECTA A LA TEMPERATURA O A UN PROCESO DE OSCURECIMIENTO TIPO MAILLARD.

B) INACTIVACIÓN DE ENZIMAS: EL SEGUNDO EFECTO INMEDIATO DE LOS TRATAMIENTOS TÉRMICOS ES LA INACTIVACIÓN DE LAS DIVERSAS ENZIMAS

LA DENATURALIZACIÓN ES UN PROCESO DONDE LA MOLÉCULA PIERDE SUS ESTRUCTURAS TERCIARIA Y CUATERNARIA O INCLUSO LA SECUNDARIA, Y CON ELLO LA CAPACIDAD DE RETENER AGUA Y SOLUBILIZARSE CON EL QUE AÚN CON MEDIOS MECÁNICOS ES IMPOSIBLE DISOLVER EL ALIMENTO. LA EXTENSIÓN DEL DAÑO SUFRIDO POR DENATURALIZACIÓN DEPENDERÁ DE LA RELACIÓN TIEMPO/TEMPERATURA QUE LA HAYA ORIGINADO; HASTA HASTA CIERTO PUNTO, SE CONSIDERA FAVORABLE UNA LIGERA DENATURALIZACIÓN YA QUE AUMENTA LA DIGESTIBILIDAD DEL ALIMENTO AL QUEDAR LA ESTRUCTURA PRIMARIA DE LA MOLÉCULA EXPUESTA A LA ACCIÓN DE LAS DIFERENTES PROTEASAS DIGESTIVAS (12).

LAS PROTEÍNAS MÁS SENSIBLES A DENATURALIZACIÓN POR CALOR SON EN ORDEN DECRECIENTE: INMUNOGLOBULINAS, ALBÚMINAS DEL SUERO, LACTOGLOBULINAS Y LACTOGLOBULINAS. ADICIONALMENTE, SE PUEDE MENCIONAR QUE UN CALENTAMIENTO POR TIEMPO PROLONGADO (MAS DE 100 SEG) A TEMPERATURAS SUPERIORES A 70°C FAVORECE LA FORMACIÓN DE

-MAS PRESENTES EN LA LECHE QUE, COMO PROTEÍNAS QUE SON, SUFREN DES NATURALIZACIÓN DE SU ESTRUCTURA CESANDO CON ELLO SU FUNCIONALIDAD BIOLÓGICA. EN ESTE CASO EL TRATAMIENTO TÉRMICO FAVORECE LA CONSERVACIÓN DEL ALIMENTO Y ES NECESARIO ESTABLECER UN EQUILIBRIO ENTRE LA INACTIVACIÓN ENZIMÁTICA Y EL DAÑO AL RESTO DE LOS COMPONENTES DE LA LECHE. DURANTE LA PASTEURIZACIÓN SON AFECTADAS LA GRAN MAYORÍA DE LAS ENZIMAS AÚN CUANDO ALGUNAS LIPASAS Y PROTEASAS PERMANECEN ACTIVAS PARA SER NUEVAMENTE AFECTADAS POR EL SECADO DONDE LA TEMPERATURA DE PROCESO Y LA BAJA HUMEDAD RESIDUAL HACEN QUE SÓLO UNAS CUANTAS LIPOXIGENASAS, PEROXIDASAS Y FOSFATASAS PERMANEZCAN VIABLES.

C) REACCIONES DE OSCURECIMIENTO: ESTE ES UNO DE LOS PRINCIPALES MECANISMOS QUÍMICOS DE DEGRADACIÓN DE LA LECHE Y SE INICIA CON LA REACCIÓN ENTRE UN AZÚCAR REDUCTOR Y UN GRUPO AMINO QUE ES FUERTEMENTE DEPENDIENTE EN VELOCIDAD DE LA TEMPERATURA. LA LECHE ES ESPECIALMENTE SUCEPTIBLE A ESTE TIPO DE DAÑO POR SER EL ALIMENTO QUE PROPORCIONALMENTE CONTIENE MÁS AZÚCARES REDUCTORES LIBRES ASÍ COMO AMINOÁCIDOS SIMPLES DISPERSOS DE LOS CUALES LA LISINA ES EL QUE MÁS FÁCILMENTE REACCIONA POR ÉSTA VÍA. EL MECANISMO DE LA REACCIÓN SIGUE UNA CINÉTICA DE 2º. ORDEN (1), (9) Y ADEMÁS DE LA DESTRUCCIÓN DE AMINOÁCIDOS TIENE EL INCONVENIENTE DE GENERAR INTERMEDIARIOS DE COLOR OSCURO E INSOLUBLES, COMO LAS MELANODINAS DEL TIPO DEL HIDROXIMETILFURFURAL; POR OTRA PARTE, SE DESCONOCE HASTA QUÉ PUNTO PROPICIA ÉSTE TIPO DE REACCIONES LA FORMACIÓN DE COMPUESTOS TÓXICOS POR LO QUE SU PRESENCIA DEBE EVITARSE A FIN DE MANTENER LAS CALIDADES SANITARIAS, NUTRITIVAS, SENSORIALES Y DE RÁPIDA RECONSTITUCIÓN DEL PRODUCTO.

D) DESTRUCCIÓN DE VITAMINAS: LA MAGNITUD DE ÉSTE TIPO DE DAÑO SE HALLA EN RELACIÓN DIRECTA A LA TEMPERATURA Y TIEMPO DE UN PROCESO TÉRMICO SIENDO LAS VITAMINAS HIDROSOLUBLES LAS MÁS AFECTADAS PUES SE PIENSA QUE LA GRASA EJERCE UN EFECTO PROTECTOR EN EL CASO DE LAS LIPOSOLUBLES; EN UN ORDEN DE MAYOR A MENOR SENSIBILIDAD AL EFECTO DE LA TEMPERATURA SE ENLISTAN A CONTINUACIÓN LOS DIFERENTES COMPUESTOS DE ÉSTE GRUPO: TIAMINA (B1), PIRIDOXINA (B6), CIANOCOBALAMINA (B12), ÁCIDO L-ASCÓRBICO (C), ÁCIDO FÓLICO, BIOTINA (B8), ÁCIDO PANTOTÉNICO (B5), NICOTINAMIDA (B3), RIBOFLAVINA (B2), VITAMINA K, VITAMINA D, VITAMINA E Y VITAMINA A (9).

E) FORMACIÓN DE GRASA LIBRE: ESTE FACTOR DEPENDE NO SÓLO DEL DAÑO POR CALOR SINO DEL MANEJO MECÁNICO DEL PRODUCTO A LO LARGO DEL PROCESO DE ELABORACIÓN. EN LO REFERENTE A LA TEMPERATURA Y SUS CONSECUENCIAS SE TIENE QUE LA DESTRUCCIÓN DE LA MEMBRANA DE EL GLÓBULO DE GRASA SE RELACIONA DIRECTAMENTE CON LA DENATURALIZACIÓN DE SUS PROTEÍNAS; ADEMÁS, LA DISMINUCIÓN DE LA VISCOSIDAD DE LA GRASA HACE QUE ÉSTA DIFUNDA FÁCILMENTE ATRAVÉS DE LA PARTICULA SECA HACIA LA SUPERFICIE DONDE LA CUBRE CON UNA CAPA IMPERMEABLE AL AGUA Y SUCEPTIBLE A LA RANCIDEZ HIDROLÍTICA DURANTE EL ALMACENAMIENTO.

SOBRE LA BASE DE LO ANTERIORMENTE MENCIONADO FUE PLANTEADA UNA METODOLOGÍA PARA EL DESARROLLO Y ALCANCE DE LOS OBJETIVOS PROPUESTOS, MISMA QUE SERÁ MATERIA DEL SIGUIENTE CAPÍTULO.

## CAPITULO II METODOLOGIA EXPERIMENTAL

PARA EL DESARROLLO Y LOGRO DE LOS OBJETIVOS PLANTEADOS, TENIENDO EN CONSIDERACIÓN LOS ANTECEDENTES TÉCNICOS MENCIONADOS ASÍ COMO LA DEFINICIÓN DE LA PROBLEMÁTICA INVOLUCRADA, HA SIDO EL PROPÓSITO DE ESTE ESTUDIO MEJORAR LAS CUALIDADES DE RECONSTITUCIÓN DE LA LECHE "DARÉL" PROCESADA NORMALMENTE, COMO UN PASO PARA DETERMINAR EN SITUACIÓN EXTREMA LAS CONDICIONES APROPIADAS PARA LA AGLOMERACIÓN E INSTANTANIZACIÓN DEL PRODUCTO POR FLUIDIZACIÓN.

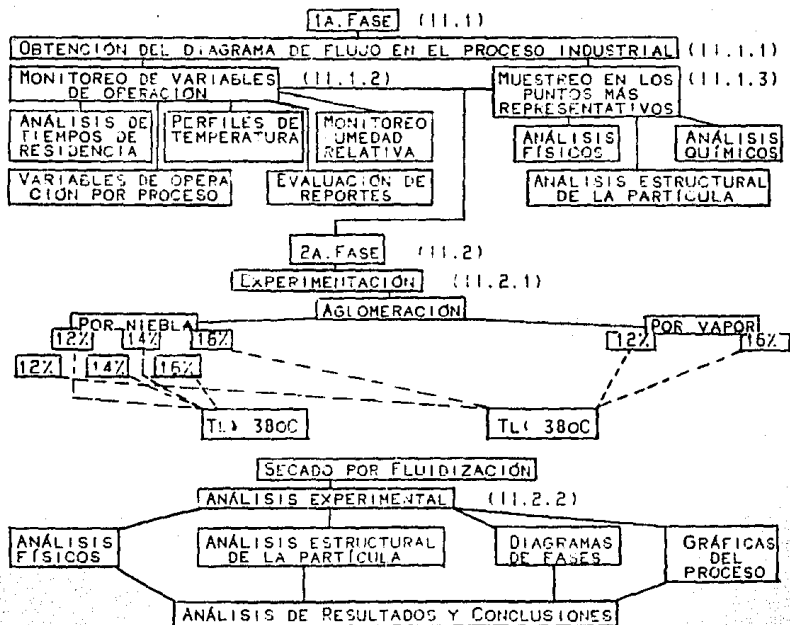
PARA ESTE PROPÓSITO, EL TRABAJO SE DIVIDIÓ EN 2 FASES EXPERIMENTALES: UNA PRIMERA FASE DEDICADA A LA OBSERVACIÓN, MUESTREO Y MONITOREO DE VARIABLES DEL PROCESO EN LA INDUSTRIA ASÍ COMO A LA REALIZACIÓN DE LOS ANÁLISIS NECESARIOS PARA DETERMINAR LAS CAUSAS POSIBLES DEL PROBLEMA DE LA MALA RECONSTITUCIÓN DEL PRODUCTO Y POR OTRA PARTE, UNA SEGUNDA FASE LLEVADA A CABO EN UN EQUIPO PILOTO DE FLUIDIZACIÓN DE LA NAVE 2000 DE LA F.E.S. -CUAUTILÁN. EN ESTA 2ª. FASE SE EXPERIMENTÓ UN PROCESO DE AGLOMERACIÓN Y SECADO POR FLUIDIZACIÓN CON LAS MUESTRAS DE PRODUCTO TERMINADO PROPORCIONADAS POR LA INDUSTRIA, EN CONDICIONES TALES QUE SE LOGRASE MEJORAR LA CALIDAD DE ÉSTAS EN CUANTO A PROPIEDADES INSTANTÁNEAS; EL CUADRO NO.2 MUESTRA EL DIAGRAMA DE BLOQUES DE LA METODOLOGÍA.

### 11.1 PRIMERA FASE.

A CONTINUACIÓN SE PROCEDERÁ A DESGLOSAR LOS ANÁLISIS Y DETERMINACIONES EFECTUADOS DURANTE LA 1ª. FASE LOS RESULTADOS CORRESPONDIENTES A ESTA FASE Y LA SEGUNDA SE PRESENTAN EN EL CAPÍTULO III

11.1.1. PARA COMENZAR SE PROCEDIÓ AL RECONOCIMIENTO DEL PROCESO INDUSTRIAL DE ELABORACIÓN DE LECHE ENTERA EN POLVO A PARTIR DE LECHE FRESCA EN LA PLANTA DE LA BARCA, JAL. DE PROLESA CON LA FINALIDAD DE OBSERVAR LA TECNOLOGÍA EMPLEADA ASÍ COMO LAS PARTICULARIDADES PROPIAS DE ÉSTA EN ESE LUGAR. EL DIAGRAMA NO.1 MUESTRA DICHO PROCESO, MISMO QUE SE DESCRIBE A CONTINUACIÓN: LA LECHE FRESCA ES ENTREGADA POR LOS PROVEEDORES UTILIZANDO POR LO GENERAL RECIPIENTES LECHEROS PUES SE TRATA EN SU MAYORÍA DE PEQUEÑOS PRODUCTORES; DE DICHO RECIPIENTES EL ALIMENTO ES VACIADO A UNA TINA DE RECEPCIÓN CUBIERTA CON UNA MALLA METÁLICA QUE IMPIDE EL PASO DE IMPUREZAS MAYORES COMO RESTOS DE PAJA U OTROS, PARA LO CUAL EL DEPARTAMENTO DE CONTROL DE CALIDAD AUTORIZA LA RECEPCIÓN DE TODOS A QUELLOS LOTES QUE CUMPLAN CON LAS ESPECIFICACIONES NORMALES DE LA LECHE FRESCA. DE LA TINA DE RECEPCIÓN LA LECHE ES BOMBEADA HACIA UN NO DE 4 TANQUES REFRIGERADOS Y AISLADOS TÉRMICAMENTE, PASANDO POR UN PEQUEÑO FILTRO DE PLACAS Y MARCOS QUE ELIMINA LAS IMPUREZAS MENORES QUE AUN CONSERVE LA LECHE.

CUADRO NO. 2  
METODOLOGÍA EXPERIMENTAL



\*NOTA: LAS LINEAS PUNTEADAS INDICAN LA COMBINACIÓN DE VARIABLES MANEJADA EN LA EXPERIMENTACIÓN.



EL PROCESAMIENTO DEL ALIMENTO SE INICIA CON EL BOMBEO DE LA LECHE DESDE LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO HASTA LA ESTANDARIZACIÓN DEL CONTENIDO GRASO, PARA LO CUAL EL LÍQUIDO PASA POR UN PRECALENTAMIENTO EN UN INTERCAMBIADOR DE CALOR DE PLACAS QUE ELEVA LA TEMPERATURA DEL MISMO ANTES DE LLEGAR A LA CENTRIFUGACIÓN PARA LA ELIMINACIÓN DE GRASA O BIEN A LOS TANQUES DE MEZCLADO EN QUE SE ADICIONA GRASA BUTÍRICA, SEGÚN INDIQUE CONTROL DE CALIDAD EN BASE A SUS MUESTREOS DE LOS TANQUES DE TRABAJO.

POSTERIORMENTE LA LECHE ES ENVIADA PASTEURIZARSE EN UN INTERCAMBIADOR DE CALOR DE TUBO Y CORAZA CON ENFRIADOR DE PLACAS A LA SALIDA DEL MISMO DONDE PASA A LA HOMOGENIZACIÓN; ESA OPERACIÓN SE REALIZA EN UN EQUIPO MANTON-GAULIN DE 3 PISTONES Y 2 ETAPAS, UTILIZANDO LA PRESIÓN DEL HOMOGENIZADOR, LA LECHE ENTRA A UN EVAPO-RADOR DE TUBOS VERTICALES DE PELÍCULA DESCENDENTE Y DOS EFECTOS A VACÍO POR EFECTORES DE VAPOR PARA SER CONCENTRADA.

EL SIGUIENTE PASO ES UN PRECALENTAMIENTO DE LA LECHE PREVIO AL SECADO EN UN INTERCAMBIADOR DE TUBO Y CORAZA UN SEGUNDO HOMOGENIZADOR DE 3 PISTONES FUNCIONA COMO BOMBA PARA ELEVAR LA LECHE HASTA LA PARTE SUPERIOR DEL SECADOR QUE ES UN EQUIPO MARCA "PLA" CONSTRUÍDO EN ACERO INOXIDABLE. LA ALIMENTACIÓN AL SECADOR ES POR MEDIO DE 2 BOQUILLAS DE ALTA PRESIÓN MARCA "DE LAVAN" MODELO SDX Y SERIE 130 COLOCADAS EN "Y". EXISTE UN DISPOSITIVO DE LEGITIMACIÓN CONSISTENTE EN UNA BOQUILLA DE DOBLE FLUJO QUE ESPREA UNA MEZCLA DE GRASA/LECITINA EN CONTRACORRIENTE CON EL POLVO, MIENTRAS QUE EL AIRE FLUYE EN FORMA DESCENDENTE EN PARALELO CON EL PRODUCTO. EL CALENTAMIENTO DEL AIRE SE REALIZA MEDIANTE UN CAMBIADOR DE CALOR DE VAPOR A ALTA PRESIÓN SIENDO CIRCULADO MEDIANTE UN TIRO INDUCIDO POR 2 VENTILADORES CENTRÍFUGOS. EL POLVO ES SEPARADO DE LA CORRIENTE DE AIRE EN SEPARADORES CICLÓNICOS A LOS QUE LLEGA A UNA TEMPERATURA MENOR A LA DE SALIDA DEL SECADOR GRACIAS A LA SUCCIÓN DE AIRE FRESCO.

UNA VEZ SECA, LA LECHE ES TAMIZADA A FIN DE SEPARAR LOS FINOS Y GUARDADA EN BOLSAS DE PLÁSTICO ESTIBADAS MANUALLY EN ESPERA DE SER AGLOMERADA DADO QUE LAS CAPACIDADES A LAS QUE OPERAN EL SECADO Y LA INSTANTANIZACIÓN SE HALLAN DESFAZADAS. CUANDO LA CAPACIDAD DE INSTANTANIZACIÓN LO PERMITE, LA LECHE ES REGRESADA A PROCESO AL SER VACIADAS MANUALLY LAS BOLSAS EN UN TRANSPORTADOR HELICOIDAL QUE ALIMENTA LA TUBERÍA QUE LLEVA NEUMÁTICAMENTE AL POLVO HASTA EL AGLOMERADOR.

LA AGLOMERACIÓN ES POR NIEBLA CON RECIRCULACIÓN DE LOS FINOS PROVENIENTES DEL FLUIDIZADOR; DE ESTE PUNTO EL POLVO ES TRANSPORTADO HACIA EL SECADO FINAL POR FLUIDIZACIÓN MEDIANTE UNA BANDA DE CAUCHO. EL FLUIDIZADOR ES UN EQUIPO QUE CONSTA DE 2 ETAPAS DE SECADO Y 2 DE ENFRIAMIENTO DONDE UNA PLACA PERFORADA VIBRATORIA ACCIONADA POR 2 MOTORES EXCÉNTRICOS ACTÚA COMO DISTRIBUIDOR DEL AIRE CALENTADO POR VAPOR O TOMADO DEL AMBIENTE, SEGÚN LA ETAPA DE PROCESO A QUE SE DESTINE.

AL FINAL DEL PROCESO EL PRODUCTO ES TAMIZADO Y NUEVAMENTE ALMACENADO EN BOLSAS DE PLÁSTICO, AHORA EN ESPERA DE SER ENVIADO AL ENVASADO Y A PESAR DE QUE SE CUENTA CON EL EQUIPO DE TRANSPORTE NECESARIO PARA HACER CONTINUO EL PROCESO. POR LO ANTERIOR, LA ALIMENTACIÓN AL ENVASADO SE EFECTÚA MANUALMENTE; COMO ENVASE SE UTILIZAN BOTES DE LÁMINA BARNIZADOS EN SU PARTE INTERNA Y ESTERILIZADOS PREVIAMENTE MEDIANTE UN DOBLETEC Y RADACIÓN CON 3 LÁMPARAS DE LUZ ULTRAVIOLETA. EL CIERRE DE LOS BOTES SE HACE MEDIANTE UNA ENGARGOLADORA QUE PRACTICA UN ORIFICIO DE 1.5 MM DE DIÁMETRO EN EL CENTRO DE LA TAPA Y QUE SIRVE PARA QUE LOS BOTES ACOMODADOS EN CHAROLAS SEAN SOMETIDOS A VACÍO EN UNA CÁMARA ESPECIAL Y LLENADOS POSTERIORMENTE CON NITRÓGENO; AL SALIR DE ESA CÁMARA LOS BOTES SE DETIENEN EN ESPERA DE SER SELLADOS MANUALMENTE CON SOLDADURA DE ESTANO. EN ESTE PUNTO FINALIZA EL PROCESO COMPLETO INCLUYENDO EL ENVASADO, AUNQUE HAY QUE HACER NOTAR QUE ESE PASO ADEMÁS DEL ALMACENAMIENTO Y TRANSPORTE NO SE CONSIDERAN SUJETOS DE ESTE ESTUDIO.

11.1.2 POSTERIORMENTE SE PASÓ A LA ETAPA DEL MONITOREO DE LAS VARIABLES DE OPERACIÓN EN CADA UNO DE LOS PROCESOS DE LA CADENA DE ELABORACIÓN DE LA LECHE, AUXILIÁNDOSE PARA ELLO DE LOS INSTRUMENTOS Y EQUIPOS DE MEDICIÓN PROPRIOS DE LA PLANTA Y DE OTROS COMO: TERMOPARES ELECTRÓNICOS, PSICRÓMETRO ELÉCTRICO, CRONÓMETROS, ETC. EN ESTA ETAPA SE CONTEMPLA ASÍ MISMO LA REVISIÓN ALEATORIA DE LOS REPORTES DE CONTROL DEL PROCESO Y DE CONTROL DE CALIDAD ELABORADOS POR EL PERSONAL DE LA EMPRESA. PARA EFECTOS DEL ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS ESTA ETAPA DE MONITOREO SE DIVIDIÓ A SU VEZ EN LO CONCERNIENTE A LOS PROCESOS PREVIOS AL SECADO, EL SECADO EN SÍ Y LA INSTANTANIZACIÓN. SE MONITOREARON 3 TURNOS DE TRABAJO EN DIFERENTES INTERVALOS DE TIEMPO PARA CADA PROCESO DE LA SIGUIENTE MANERA:

#### A) PROCESOS PREVIOS AL SECADO:

- RECEPCIÓN Y ALMACENAMIENTO DE LA MATERIA PRIMA: EN ESTE PUNTO SE EFECTUÓ UNA VERIFICACIÓN DE LOS REPORTES DE CONTROL DE LA CALIDAD EN CUANTO A LOS ANÁLISIS QUE REALIZA AL SER RECIBIDO EN PLANTA EL ALIMENTO; DE IGUAL FORMA SE OBTUVO EL PROMEDIO DE LA TEMPERATURA DE ALMACENAMIENTO DE LA MATERIA PRIMA EN INTERVALOS DE 2 HORAS CADA UNO.
- ESTANDARIZACIÓN: PARA ESTE PUNTO SE REVISARON TANTO LOS REPORTES DE CONTROL DE PROCESO EN CUANTO A CONTENIDO DE GRASA A LA SALIDA DE ESTA OPERACIÓN, COMO LOS INSTRUMENTOS DE PLANTA PARA CONOCER LA TEMPERATURA DE SALIDA DEL CALENTAMIENTO PREVIO.
- PASTEURIZACIÓN: LA ATENCIÓN EN ESTA OPERACIÓN SE ENFOCÓ HACIA LAS GRÁFICAS DE CONTROL DE LA TEMPERATURA DEL PROCESO, VERIFICANDO SE TAMBIÉN EL TIEMPO DE RESIDENCIA Y LA TEMPERATURA DE SALIDA.
- HOMOGENIZACIÓN: LA PRESIÓN DE CADA ETAPA ASÍ COMO LA TEMPERATURA DE PROCESO FUERON OBTENIDAS COMO PROMEDIO DE LAS 24 HR REVISADAS.
- CONCENTRACIÓN: SE OBTUVIERON DE ESTA OPERACIÓN LOS PROMEDIOS DE TEMPERATURA EN CADA EFECTO ASÍ COMO LA CONCENTRACIÓN DE SÓLIDOS TOTALES A LA SALIDA EN INTERVALOS DE 1 HR.

- PRECALENTAMIENTO: DE ÉSTA OPERACIÓN SE OBTUVO EL PROMEDIO DE LA TEMPERATURA DE PROCESO EN INTERVALOS DE 2 HR.

E) SECADO POR ASPERSIÓN:

- MECANISMO DE ASPERSIÓN: SE ANOTARON LAS VARIABLES DE GASTO VOLUMÉTRICO, PRESIÓN DE DESCARGA DE LAS BOQUILLAS, DIÁMETRO DEL ORIFICIO EMPLEADO Y ÁNGULO DE ASPERSIÓN.

- DIMENSIONES: EL EQUIPO FUE MEDIDO EN SUS DIMENSIONES PRINCIPALES DE ALTURA Y DIÁMETRO.

- LECITINACIÓN: SE VERIFICÓ EL TIPO DE ASPERSIÓN MANEJADA, LA TEMPERATURA DE LA MEZCLA, LA PROPORCIÓN DE LECITINA EN EL POLVO SECO AL FINAL DEL PROCESO, EL ÁNGULO DE ASPERSIÓN Y LA PRESIÓN DE AIRE EN LA BOQUILLA.

- CONDICIONES DEL AIRE DE SECADO: CADA HORA SE ANOTARON LA TEMPERATURA Y HUMEDAD DEL AIRE DE SECADO PARA OBTENER LOS PROMEDIOS CORRESPONDIENTES.

- TEMPERATURA EN EL EQUIPO: POR SER DE SUMA IMPORTANCIA PARA EL ANÁLISIS DEL PROCESO SE CONSTRUYÓ EL PERFIL DE TEMPERATURAS A LO LARGO DEL SECADOR.

- HUMEDAD RELATIVA: SE MONITOREÓ CADA HORA LA HUMEDAD RELATIVA DEL AIRE EN TORNO AL EQUIPO Y EN LAS DEMÁS ZONAS DE PROCESO.

- TEMPERATURA DE SALIDA: CON DATOS EN INTERVALOS DE MEDIA HORA SE OBTUVIERON LOS PROMEDIOS DE TEMPERATURA DE SALIDA DEL PRODUCTO DE EL SECADOR Y DE LOS SEPARADORES CICLÓNICOS.

- PATRÓN DE FLUJO: POR SU IMPORTANCIA EN LA ESTRUCTURA FINAL DE LA PARTÍCULA SE DETERMINÓ EL PATRÓN DE FLUJO DEL AIRE CON RESPECTO A EL ALIMENTO DENTRO DEL EQUIPO.

C) INSTANTANIZACIÓN:

- AGLOMERACIÓN: SE TOMÓ NOTA DEL TIPO DE REHUMECTACIÓN EMPLEADA ASÍ COMO LAS CONDICIONES DE TEMPERATURA, HUMEDAD DEL PRODUCTO A LA ENTRADA Y A LA SALIDA DEL PROCESO EN FORMA PROMEDIO CON LECTURAS CADA HORA.

- FLUIDIZACIÓN: DE ÉSTE PUNTO SE TOMARON LAS VARIABLES DE DIMENSIONES DEL EQUIPO, ESPESOR DE LECHO, NÚMERO DE ETAPAS, VELOCIDAD DEL PRODUCTO, TEMPERATURA Y HUMEDAD DEL ALIMENTO A LA SALIDA, OBTENCIÓN DEL PERFIL DE TEMPERATURAS Y ANÁLISIS DE TIEMPO DE RESIDENCIA POR ETAPA.

11.1.3 SE REALIZÓ UN MUESTREO EN LOS PUNTOS CONSIDERADOS DE IMPORTANCIA EN LAS OPERACIONES DE SECADO E INSTANTANIZACIÓN QUE SE PRESENTAN EN EL DIAGRAMA NO.2 Y QUE CORRESPONDEN A LA PARTE SUPERIOR E INFERIOR DEL SECADOR Y A CADA UNA DE LAS 4 ETAPAS DE LA FLUIDIZACIÓN. SU IMPORTANCIA RADICA EN QUE ES PRECISAMENTE EN ESAS OPERACIONES DONDE LA PARTÍCULA ADQUIERE LAS CARACTERÍSTICAS DE ESTRUCTURA INTERNA Y EXTERNA QUE DETERMINAN SU HIDRATABILIDAD. ADICIONALMENTE, POR MEDIO DEL ANÁLISIS DE ÉSTAS MUESTRAS ES POSIBLE



-EVALUAR OTRO TIPO DE SITUACIONES COMO EL EFECTO DE LA TEMPERATURA DE CADA OPERACIÓN SOBRE EL ALIMENTO Y LOS POSIBLES CAMBIOS QUÍMICOS A LO LARGO DEL PROCESO.

EN ESTE MOMENTO ES NECESARIO MENCIONAR QUE DICHS ANÁLISIS TUVIERON UN CARÁCTER NO SÓLO DETERMINATIVO O EVALUATORIO DEL PROCESO SINO QUE TAMBIÉN SON COMPARATIVOS PUES FUERON APLICADOS DE LA MISMA MANERA A UNA MUESTRA DE LECHE ENTERA EN POLVO CONSIDERADA COMO REPRESENTATIVA DE LO QUE DEBE SER UN POLVO INSTANTÁNEO.

UNA VEZ ESTABLECIDO LO ANTERIOR SE EXPLICARÁ EN QUE CONSISTE CADA UNO DE LOS ANÁLISIS EFECTUADOS Y QUE, JUNTO CON EL MONITOREO DE VARIABLES DE PROCESO SIRVEN DE BASE PARA EL ANÁLISIS DE RESULTADOS:

- DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE HUMECTABILIDAD: SE MENCIONÓ YA QUE ES UNA MANERA DE MEDIR LA PROPIEDAD CONOCIDA COMO HUMECTABILIDAD. SUS RESULTADOS SE HALLAN DIRECTAMENTE RELACIONADOS CON FACTORES DE IMPORTANCIA PARA LA RECONSTITUCIÓN DEL ALIMENTO COMO LO ES LA PRESENCIA DE GRASA LIBRE, LA ESTRUCTURA DE LA PARTÍCULA Y OTROS QUE SE MENCIONAN MÁS ADELANTE. LA DETERMINACIÓN SE EFECTUÓ MEDIANTE LAS TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE POLVOS DEL INSTITUTO NACIONAL DE LA NUTRICIÓN (21).

- DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE SOLUBILIDAD: REALIZADO BAJO LOS PRINCIPIOS RECOMENDADOS POR EL INSTITUTO DE LA NUTRICIÓN (21), DA UNA IDEA DEL ESTADO FÍSICO Y QUÍMICO QUE GUARDAN LOS COMPONENTES DE LA LECHE MEDIANTE LA EVALUACIÓN INDIRECTA DE LA SOLUBILIDAD.

- DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD A GRANUL: IGUALMENTE LLEVADA A CABO SEGÚN LAS TÉCNICAS DEL INN, ES UN PARÁMETRO PARA EVALUAR ENTRE OTRAS COSAS LAS CARACTERÍSTICAS DEL GRÁNULO DE LECHE Y PROPORCIONA UN MARCO DE REFERENCIA PARA CLASIFICAR AL POLVO COMO INSTANTÁNEO O NO INSTANTÁNEO.

- DISTRIBUCIÓN DE TAMAÑOS: PROPORCIONA MUCHA INFORMACIÓN ACERCA DE LOS PROCESOS DE SECADO, AGLOMERACIÓN Y FLUIDIZACIÓN. SE LLEVÓ A CABO MEDIANTE LA MEDICIÓN DIRECTA DE FOTOGRAFÍAS CON MARCA DE ESCALA DE MICROSCOPIO; LOS DATOS SE TRATARON ESTADÍSTICAMENTE MEDIANTE UN ANÁLISIS DE DESVIACIÓN ESTÁNDAR Y VALOR DE DESVIACIÓN, PRESENTÁNDOSE LOS RESULTADOS EN GRÁFICAS DE DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS.

- CONTENIDO GRASO: SIENDO LA GRASA EL SEGUNDO COMPONENTE PRESENTE EN MAYOR CANTIDAD EN EL POLVO Y UNO DE LOS QUE DETERMINAN LA AFIRMIIDAD DE ÉSTE POR EL AGUA ASÍ COMO LA DURACIÓN DE LA VIDA DE ALMACENAMIENTO ES IMPORTANTE VERIFICAR SE HALLA DENTRO DEL RANGO ADECUADO; LA DETERMINACIÓN SE HIZO RECONSTITUYENDO AL POLVO EN LAS PROPORCIONES ORIGINALES Y LIBERANDO LA GRASA PARA SU CUANTIFICACIÓN MEDIANTE EL MÉTODO DE GERBER (8).

- ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA DE LA PARTÍCULA: EFECTUADO GRACIAS A UN EQUIPO DE MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO JEOL/JSM-25-S11, PROPORCIONA INFORMACIÓN PRECISA DE LA ESTRUCTURA DE LA PARTÍCULA.

-ATRÁVES DE FOTOGRAFÍAS DEL POLVO EN LAS QUE ES POSIBLE CONOCER TODAS LAS CARACTERÍSTICAS INTERNAS Y EXTERNAS DE LA MASA DE POLVO O BIEN, DE UNA PARTÍCULA INDIVIDUAL. DE ÉSTO SE DERIVAN UNA SERIE DE OBSERVACIONES SUMAMENTE VALIOSAS PARA ÉSTE ESTUDIO PUES AL MOMENTO SÓLO SE CONOCEN EN LA LITERATURA FOTOGRAFÍAS DE MICROSCOPIO ÓPTICO QUE NO TIENEN EL PODER DE RESOLUCIÓN Y NO REVELAN POR TANTO, LA CANTIDAD DE DETALLES QUE SE LOGRAN CON ESTOS EQUIPOS, QUE ADEMÁS TIENEN LA VENTAJA DE PRESENTAR IMÁGENES QUE GRACIAS AL BARRIDO SE OBSERVAN EN UNA PERSPECTIVA DE TRES DIMENSIONES.

LAS DETERMINACIONES DE HUMECTABILIDAD, DENSIDAD A GRANEL, SOLUBILIDAD Y CONTENIDO GRASO SE EFECTUARON POR TRIPPLICADO PARA PRESENTAR LOS RESULTADOS PROMEDIO.

## 11.2 SEGUNDA FASE.

11.2.1 COMO YA SE EXPLICÓ, EN ÉSTA FASE SE REALIZÓ LA EXPERIMENTACIÓN DE UN PROCESO DE AGLOMERACIÓN Y SECADO POR FLUIDIZACIÓN BAJO CONDICIONES ESPECIALES. A CONTINUACIÓN SE DESGLOSA ÉSTA EXPERIMENTACIÓN:

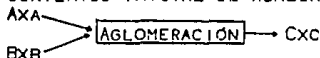
SIENDO LA REHUMECTACIÓN POR NIEBLA Y VAPOR LAS DOS MANERAS MÁS COMUNES DE LLEVAR A CABO LA AGLOMERACIÓN FUERA DE UN ESTADO DE TERMOPLASTICIDAD PROTÉICA, SE DECIDIÓ EXPERIMENTAR CON AMBOS A FIN DE DETERMINAR CUÁL DE ELLOS RESULTA MÁS CONVENIENTE DESDE EL PUNTO DE VISTA DE LA RECONSTITUCIÓN PARTIENDO DEL PRODUCTO TERMINADO DEL PROCESO INDUSTRIAL COMO MATERIA PRIMA Y CONTRASTANDO LOS RESULTADOS CON LA TEORÍA DE LA AGLOMERACIÓN.

LOS NIVELES DE VARIACIÓN MANEJADOS EN LA REHUMECTACIÓN FUERON DE 12, 14 Y 16% DE HUMEDAD EN EL PRODUCTO YA AGLOMERADO Y LISTO PARA SECARSE POR FLUIDIZACIÓN. ÉSTOS VALORES SE SELECCIONARON BUSCANDO OBTENER EL MAYOR GRADO DE AGLOMERACIÓN POSIBLE QUE, SEGUN PISECKY, SORENSEN Y COLABORADORES (PATENTE U.S. 4490403), SE CONSIGUE CON 16% DE HUMEDAD MÁXIMA EN EL POLVO Y EVITANDO CON ELLO LA FORMACIÓN DE MONOGRÁNULOS E INTRODUCIENDO AL MISMO TIEMPO LA MAYOR CANTIDAD POSIBLE DE AGUA AL ALIMENTO PARA PROTEGERLO DEL CALOR DEL AIRE DE SECADO DURANTE LA FLUIDIZACIÓN.

DADO QUE NO SE CONTABA CON LOS MEDIOS PARA EFECTUAR LA AGLOMERACIÓN DEL POLVO ESTANDO ÉSTE SUSPENDIDO EN UNA CORRIENTE DE AIRE Y CONTROLAR AL MISMO TIEMPO LA HUMEDAD FINAL, SE RECURRIÓ A HACERLO EMPLEANDO UNA CHAROLA EXTENDIDA DE 70 X 30 CM Y 1.5 CM DE PROFUNDIDAD CON EL PROPÓSITO DE QUE LA MAYOR SUPERFICIE POSIBLE DEL POLVO QUEDASE EXPUESTA AL CONTACTO CON EL AGUA.

LA FIGURA NO.29 ILUSTRAS EL MECANISMO DE AGLOMERACIÓN EMPLEADO EN EL LABORATORIO. UNA VEZ ESTANDO LA LECHE EN LA CHAROLA SE PESABA LA MASA ORIGINAL PARA DETERMINAR MEDIANTE UN SENCILLO BALAN-

CE DE MATERIA QUE SE MUESTRA A CONTINUACIÓN, LA CANTIDAD DE AGUA NECESARIA PARA ALCANZAR LA HUMEDAD FINAL REQUERIDA CONOCIENDO EL CONTENIDO INICIAL DE HUMEDAD EN LA MUESTRA:



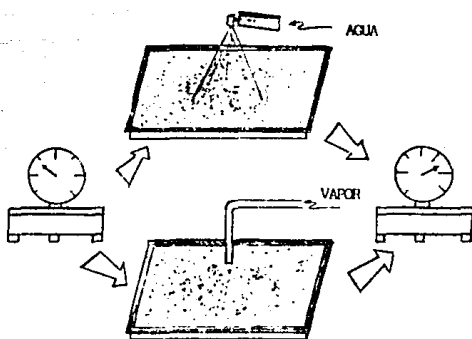
SI: X: FRACCIÓN PESO DE AGUA,  
 A: MASA DE POLVO SECO,  
 B: AGUA COMO NIEBLA O VAPOR,  
 C: MASA DE POLVO HÚMEDO,

ENTONCES:  $C = A + B$  ---EC. 11, Y:  $AXA + BXB = CXC$  ---EC. 12. DESPUES: DO B DE 12 Y SUSTITUYENDO C EN 12 SE TIENE QUE:

$B = (A + B)XC - AXA / XB$ , O BIEN:  $B = A(XC - XA) / (XB - XC)$ ; COMO  $XB = 1$  LA ECUACIÓN QUEDA COMO:  $B = A(XC - XA) / (1 - XC)$  ---EC. 13.

SABIENDO CON LA EC. 13 EL PESO QUE HAY QUE AGREGAR A LA MASA ORIGINAL DE POLVO, ÉSTE ES SOMETIDO A LA REHUMECTACIÓN HASTA QUE SE OBTIENE EL PESO FINAL C.

FIGURA NO. 29



LA HUMEDAD INICIAL EN LAS MUESTRAS EMPLEADAS ESTUVO ENTRE 4 Y 5% Y FUÉ DETERMINADA COMO EL PROMEDIO DE 3 MUESTRAS EN CADA CORRIDA POR EL MÉTODO DE ESTUFA A BAJA TEMPERATURA (8). LA TEMPERATURA DEL AGUA EN LA REHUMECTACIÓN POR NIEBLA FUÉ DE 14 A 16 OC. MIENTRAS QUE LA DEL VAPOR OSCILÓ ENTRE 92 Y 94 OC ESTANDO EL POLVO SECO A UNA TEMPERATURA DE 19 A 22OC.

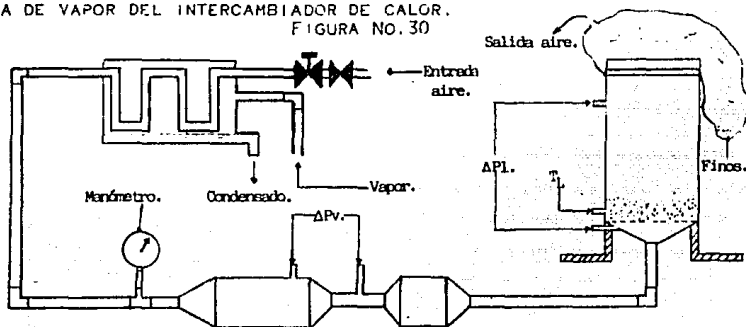
LA NIEBLA SE OBTUVO CON LA ASPERSIÓN DE UN ATOMIZADOR MANUAL Y EL VAPOR FUE TOMADO DIRECTAMENTE DE LA LINEA; EN AMBOS CASOS EL POLVO ERA REMOVIDO

CONSTANTEMENTE PARA QUE LA AGLOMERACIÓN FUESE LO MÁS HOMOGÉNEA POSIBLE. UNA CONSTANTE DEL PROCESO FUÉ LA DISTRIBUCIÓN DE TAMAÑOS INICIAL.

EL SECADO POR FLUIDIZACIÓN SE REALIZÓ EN UN EQUIPO PILOTO DE FLUIDIZACIÓN EN COLUMNA CUYO MONTAJE SE MUESTRA EN LA FIGURA NO. 30. BURYKIN Y MALYUKOV (29) ESTUDIARON EL EFECTO DE LA REHUMECTACIÓN Y LA TEMPERATURA DEL SECADO POR FLUIDIZACIÓN EN LAS CARACTERÍSTICAS HIDRODINÁMICAS DEL LECHO Y LAS CUALIDADES FINALES DE SOLUBILIDAD DE LECHE ENTERA CONCLUYENDO QUE NO ES DESEABLE EXCEDER DURANTE EL PROCESO LOS 400C DE TEMPERATURA EN EL LECHO, POR ELLO, Y DEBIDO A LA IMPORTANCIA QUE REVISTE LA TEMPERATURA EN TODO PRO

-CESO DE ALIMENTOS, EN ESPECIAL EN UN CASO COMO ÉSTE DONDE LA LECHE HA SIDO PREVIAMENTE PROCESADA SE DECIDIÓ EXPERIMENTAR CON TEMPERATURAS DE LECHO POR DEBAJO DE 380C EN UNAS MUESTRAS Y POR ARRIBA DE DICHO VALOR EN OTRAS; ÉSTO FUE ESTABLECIDO DE ÉSTA FORMA Y NO MEDIANTE VALORES FIJOS CON INTERVALOS PROGRESIVOS DE TEMPERATURA DEBIDO A QUE LA TEMPERATURA DEL LECHO (TL) CAMBIA CONSTANTEMENTE Y EL CONTROL QUE PUEDE TENERSE SOBRE ÉSTA VARIABLE CON LA INSTALACIÓN CON QUE SE CUENTA, NO TIENE UNA RESPUESTA INMEDIATA DADO QUE SE EFECTÚA CON EL CIERRE O LA APERTURA DE LA VÁLVULA DE VAPOR DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR.

FIGURA NO. 30



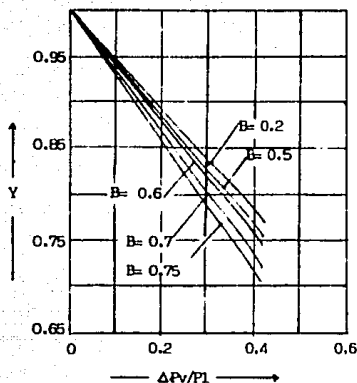
LAS VARIABLES CONSTANTES EN LA FLUIDIZACIÓN FUERON EL ESPESOR DEL LECHO ESTÁTICO (L) QUE SE MANTUVO EN 3.5 CM PUES ES EL UTILIZADO POR LA INDUSTRIA Y ES NECESARIO CONSERVARLO PARA COMPARACIONES POSTERIORES, Y EL DISTRIBUIDOR DE FLUJO EMPLEADO. LAS DIMENSIONES DEL EQUIPO DE FLUIDIZACIÓN SE PRESENTAN EN LA FIGURA NO. 31; LA COLUMNA ESTÁ CONSTRUÍDA EN ACRÍLICO QUE, DEBIDO A LAS TEMPERATURAS EMPLEADAS, NO SUFRIÓ DEFORMACIONES MIENTRAS QUE EL DISTRIBUIDOR DE FLUJO ES METÁLICO Y FUE DISEÑADO CON EL CRITERIO DE NO PERMITIR EL PASO DE POLVO Y PROPORCIONAR A LA VEZ UNA DISTRIBUCIÓN UNIFORME DEL AIRE.

LA TEMPERATURA DEL LECHO (TL) FUE OBTENIDA MEDIANTE UN TERMOPAR ELECTRÓNICO DE AGUJA. POR SU PARTE LAS CAÍDAS DE PRESIÓN EN EL TUBO VENTURI ( $\Delta P_v$ ) Y LAS DEBIDAS AL PASO DEL AIRE ATRAVÉS DEL LECHO ( $\Delta P_L$ ) FUERON MEDIDAS CON MANÓMETROS DIFERENCIALES.

A CAUSA DE LOS CONSTANTES PAROS Y ARRANQUES DEL COMPRESOR CUYAS OSCILACIONES SON GRANDES COMPARADAS CON LAS VELOCIDADES DE AIRE UTILIZADAS, EL VALOR DE LA VELOCIDAD SUPERFICIAL (VM) FUE CAMBIANTE DENTRO DE UN RANGO RELATIVAMENTE AMPLIO POR LO QUE EL CRITERIO SEGUIDO FUE EL DE BUSCAR QUE EL PROCESO SE EFECTUASE CERCA DEL LÍMITE DE LA VELOCIDAD MÍNIMA DE FLUIDIZACIÓN O CON UN PATRÓN



FIGURA NO. 32



INICIALMENTE SE PENSÓ HACER EL ENFRIAMIENTO DE LA LECHE EN LA MISMA COLUMNA DE FLUIDIZACIÓN PERO DEBIDO A LA POCA CANTIDAD QUE SE UTILIZÓ EN CADA MUESTRA ÉSTE SE HIZO DEJANDO ENFRIAR AL AIRE EL POLVO.

11.2.2 PARA ÉSTA SEGUNDA FASE SE HICIERON LOS SIGUIENTES ANÁLISIS A CADA MUESTRA AGLOMERADA Y FLUIDIZADA:

- INDICE DE HUMECTABILIDAD.
- INDICE DE SOLUBILIDAD.
- DISTRIBUCIÓN DE TAMAÑOS.
- DENSIDAD A GRANEL.
- ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA DE PARTÍCULA POR MICROSCOPÍA E LECTRÓNICA DE BARRIDO.

LOS ANTERIORES ANÁLISIS Y DE TERMINACIONES SE HICIERON EM

PLEANDO LAS MISMAS TÉCNICAS UTILIZADAS PARA LAS MUESTRAS DE LA FASE 1; ADEMÁS, SE HIZO UN ANÁLISIS DEL PROCESO DE SECADO POR FLUIDIZACIÓN A PARTIR DE LOS DATOS EXPERIMENTALES MEDIANTE:

- LA CONSTRUCCIÓN DEL DIAGRAMA DE FASES ZENZ-OTHMER DE CADA MUESTRA CON EL PROPÓSITO DE OBTENER INFORMACIÓN ACERCA DE LA HIDRODINÁMICA DEL LECHO, Y BUSCANDO ESTABLECER UNA CORRELACIÓN MATEMÁTICA ENTRE LOS DATOS QUE PERMITA DESCRIBIR EL COMPORTAMIENTO DE CADA MUESTRA DURANTE LA FLUIDIZACIÓN.

- LA CONSTRUCCIÓN DE GRÁFICAS DE TIEMPO CONTRA VELOCIDAD SUPERFICIAL, TEMPERATURA Y CAÍDA DE PRESIÓN DEL LECHO PARA COMPLETAR EL ANÁLISIS DE LA FLUIDIZACIÓN.

- LA OBTENCIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE LA CAÍDA DE PRESIÓN EN EL DISTRIBUIDOR DE FLUJO Y LA VELOCIDAD DEL AIRE O LA CAÍDA DE PRESIÓN EN EL VENTURI, PARA CONOCER SU CONTRIBUCIÓN A LAS CAÍDAS TOTALES DE PRESIÓN.

EN EL CAPÍTULO SIGUIENTE SE PRESENTAN Y ANALIZAN LOS RESULTADOS OBTENIDOS POR MEDIO DE LA METODOLOGÍA DESCRITA PARA CADA UNA DE LAS FASES DE TRABAJO.

## CAPITULO III ANALISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES.

### III.1 1A. FASE. ANÁLISIS DEL PROCESO INDUSTRIAL.

DE ACUERDO CON LA METODOLOGÍA PLANTEADA, SE INICIARÁ ESTE CAPÍTULO CON LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LA PRIMERA FASE DE ANÁLISIS Y MONITOREO DE VARIABLES EN LA PLANTA INDUSTRIAL, COMENZANDO CON LAS VARIABLES DE OPERACIÓN DE CADA UNO DE LOS ELEMENTOS QUE COMPENDEN LA CADENA DE ELABORACIÓN DE LA LECHE ENTERA EN POLVO A PARTIR DE LECHE FRESCA. EL CRITERIO QUE SE SIGUE EN LA DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS NO FUE EL DE PRESENTAR LO CONCERNIENTE A CADA PROCESO O CADA DETERMINACIÓN POR SEPARADO Y SIGUIENDO UN ORDEN DE TERMINADO (POR EJEMPLO, PRESENTAR PRIMERAMENTE LOS RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE VARIABLES DE OPERACIÓN MANEJADAS EN PLANTA, SEGUIDOS POR LAS DETERMINACIONES EN EL LABORATORIO) SINO QUE MÁS BIEN SE TRATÓ DE DAR UNA SECUENCIA A LA DISCUSIÓN DE FORMA TAL QUE SE TRATASE LO REFERENTE A CADA VARIABLE DE OPERACIÓN O PROPIEDAD DEL ALIMENTO A MEDIDA QUE SURGEN EN EL DESARROLLO DEL CAPÍTULO CON OBJETO DE TENER MAYOR FLUIDEZ Y DE LIGAR MÁS FACILMENTE UN PUNTO CON OTRO.

LAS VARIABLES DE PROCESO MANEJADAS SON LAS SIGUIENTES:

- CARACTERÍSTICAS DE LA MATERIA PRIMA: LECHE FRESCA DE VACA CON UN CONTENIDO GRASO DE 3% BASE HÚMEDA, MÍNIMO; DENSIDAD DE 1.032 G/CM<sup>3</sup> @ 150C; PH ENTRE 6.6 Y 6.8; ACIDEZ (COMO ÁCIDO LÁCTICO) DE 16 A 190 DORNIC; ÍNDICE DE REFRACCIÓN DE 1.35 @ 200C Y SÓLIDOS TOTALES DE 125 A 130 G/KG.
- RECEPCIÓN Y ALMACENAMIENTO DE MATERIA PRIMA: EN 4 TANQUES CON CAPACIDAD DE 4M<sup>3</sup> C/U, A UNA TEMPERATURA DE 4.150C PROMEDIO.
- ESTANDARIZACIÓN: CALENTAMIENTO HASTA 450C; CONCENTRACIÓN FINAL DE GRASA DE 3.4%.
- PASTEURIZACIÓN: LAS GRÁFICAS DE PROCESO (VER GRÁFICA NO. 5) SERÁN A UNA TEMPERATURA DE PROCESO DE 2250F (1070C); TIEMPO DE RESISTENCIA DE 30 SEG.; TEMPERATURA DE SALIDA DEL ENFRIADOR DE 270C.
- HOMOGENIZACIÓN: A UNA TEMPERATURA DE 45.20C Y PRESIÓN DE 2100 Y 290 PSIG PARA LA PRIMERA Y SEGUNDA ETAPAS, RESPECTIVAMENTE.
- CONCENTRACIÓN: CON TEMPERATURAS PROMEDIO DE 65 Y 540C PARA EL PRIMERO Y SEGUNDO EFECTOS, RESPECTIVAMENTE; CONCENTRACIÓN A LA SALIDA DEL PROCESO: 38.97% SÓLIDOS TOTALES PROMEDIO Y 9.95% DE SÓLIDOS GRASOS PROMEDIO.
- PRECALENTAMIENTO: TEMPERATURA DE SALIDA DE LA LECHE DE 760C.
- SECADO: DIMENSIONES DEL EQUIPO: 6M DE ALTURA POR 4M DE DIÁMETRO EN SU PARTE CILÍNDRICA; GASTO TOTAL EN LAS BOQUILLAS: 1000 L/HR CON UN ÁNGULO DE ASPERSIÓN DE 75° Y PRESIÓN DE TRABAJO DE 1500 PSIG. TIENE UN DISPOSITIVO DE LECITINACIÓN SITUADO A 4.45M POR DEBAJO DEL BORDE SUPERIOR DEL EQUIPO QUE CONSTA DE UNA BOQUILLA DE DOBLE FLUJO CON AIRE A 240 KPA ESPREANDO UNA MEZCLA DE GRASA Y LECITINA EN PARTES IGUALES A 900C EN FORMA RADIAL; LA PROPORCIÓN DE LECITINA EN EL POLVO SECO ES DE 0.2%.

LA ALIMENTACIÓN DEL AIRE DE SECADO SE HACE A 1650C, SALIENDO DE EL EQUIPO A 890C; LA LECHE SALE A LA MISMA TEMPERATURA DEL SECA DOR Y A 330C DE LOS SEPARADORES CICLÓNICOS.

- INSTANTANIZACIÓN: CAPACIDAD DE PROCESAMIENTO: 400 KG/H; AGLOMERA CIÓN A LA TEMPERATURA AMBIENTE CON HUMEDAD PROMEDIO DE ENTRADA DE 2% Y HUMEDAD DE SALIDA DE 4.2%. LA PLACA DISTRIBUIDORA DEL FLUIDIZADOR MIDE 6M DE LARGO POR 1M DE ANCHO, ACCIONADA POR 2 MO TORES DE 2 HP C/U A 60 HZ; LA HUMEDAD DE SALIDA DEL FLUIDIZADOR ES DE 1.8% A UN PROMEDIO DE TEMPERATURA DE 340C. EL AIRE DE SECA DO ESTÁ A 950C; EL AIRE DE ENFRIAMIENTO SE TOMA DEL MEDIO AMBIE NTE.
- CONDICIONES DE ENVASADO: ESTERILIZACIÓN DE LOS BOTES CON LÁMPA RAS DE LUZ U.V. DE 20W Y LLENADO CON N<sub>2</sub> HASTA 0.1 KGf/cm<sup>2</sup>.

COMO YA SE HIZO MENCIÓN EN EL CAPÍTULO DE METODOLOGÍA, SE REA LIZÓ UN MUESTREO DE PRODUCTO EN PUNTOS CLAVE DEL SECADOR Y LA IN STANTANIZACIÓN A FIN DE OBTENER DE DICHAS MUESTRAS INFORMACIÓN A CERCA DE LOS DOS PROCESOS QUE EN MAYOR MEDIDA CONTRIBUYEN A LA ES TRUCTURA Y OTRAS CARACTERÍSTICAS FINALES DEL POLVO QUE DETERMINAN LAS CUALIDADES DE RECONSTITUCIÓN. EL DIAGRAMA NO.2 ES UNA REPRESENTA CIÓN SIMPLIFICADA DE ÉSTOS DOS PROCESOS Y EN ÉL SE HALLAN SEÑA LADOS LOS PUNTOS DE MUESTREO Y LAS CLAVES ASIGNADAS A CADA MUES TRA: S1 PARA EL POLVO OBTENIDO DE LA PARTE SUPERIOR DEL SECADOR, CONCRETAMENTE DE LA PRIMERA VENTANILLA QUE ESTÁ SITUADA 1M POR DE BAJO DE LA PARTE MÁS ALTA DE LA SECCIÓN CILÍNDRICA DEL EQUIPO; U NOS 30 O 40CM ABAJO DE LAS BOQUILLAS DE ASPERSIÓN DE LECHE; S2 PA RA LAS MUESTRAS DEL FONDO DEL SECADOR, EXACTAMENTE EN LA PARTE IN FERIOR DE LA SECCIÓN CÓNICA; 11, 12, 13 E 14 PARA LAS MUESTRAS OB TENIDAS EN CADA UNA DE LAS 4 ETAPAS DE QUE CONSTA LA FLUIDIZACIÓN DEL POLVO AGLOMERADO. LA MUESTRA (14), POR HABERSE TOMADO AL FINAL DEL EQUIPO PUEDE CONSIDERARSE COMO PRODUCTO TERMINADO DEL PROCESO SIENDO DE ESE PUNTO DE DONDE SE OBTUVO LA MATERIA PRIMA PARA LA EXPERIMENTACIÓN DE LA 2A FASE, EVITANDO CON ELLO FUENTES DE VARIA BILIDAD EXPERIMENTAL DEBIDAS A ENVASE, MANEJO Y ALMACENAMIENTO DE EL ALIMENTO.

TAMBIÉN SE INCLUYE EN EL DIAGRAMA NO.2 LA LOCALIZACIÓN DE LOS PUNTOS DE MONITOREO DE LA HUMEDAD RELATIVA DEL AIRE Y LOS RE SULTADOS PROMEDIO DE ÉSTE, QUE SE COMENTARÁN POSTERIORMENTE.

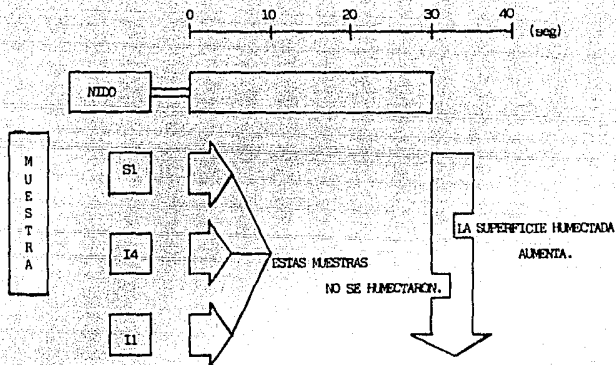
### III.1.2 HUMECTABILIDAD Y SOLUBILIDAD.

SE INICIARÁ EL ANÁLISIS DE ESTAS VARIABLES EN LA PRIMERA FA SE COMENTANDO LOS DATOS OBTENIDOS DE LAS MUESTRAS A PARTIR DE LAS DETERMINACIONES DE LOS ÍNDICES RESPECTIVOS QUE SE PRESENTAN EN LAS GRÁFICAS NO.1 Y NO.2. DE LA GRÁFICA NO.1 SE PUEDE VER QUE EN REALIDAD EL POLVO "DAREL" NO PRESENTA HUMECTABILIDAD EN TÉRMINOS DE SU DEFINICIÓN COMO PROPIEDAD DE RECONSTITUCIÓN, SINO QUE ÚNICA MENTE EXISTE UNA HUMECTACIÓN PARCIAL DE LAS MUESTRAS DONDE (11).



GRAFICA No.1

INDICE DE HUMECTABILIDAD.



GRAFICA No.2

INDICE DE SOLUBILIDAD.

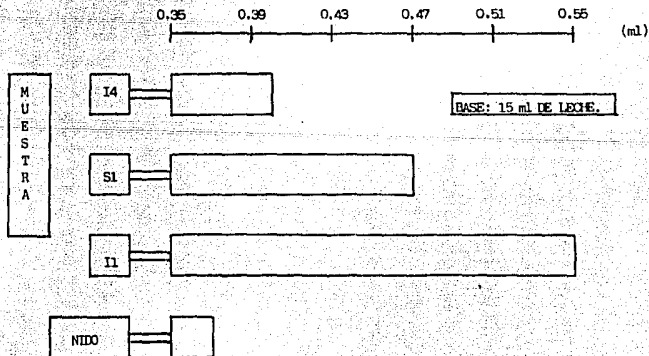
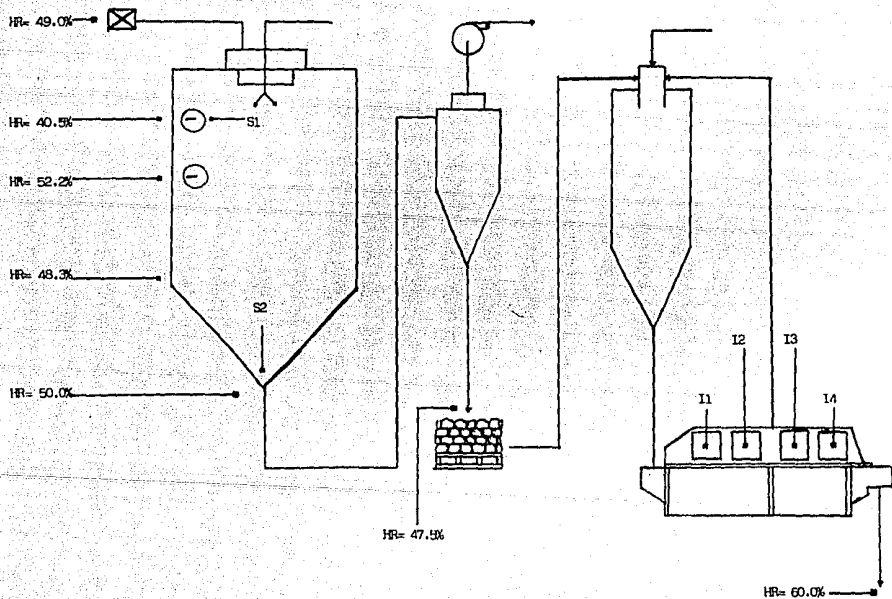


DIAGRAMA No. 2



-TOMADA DE LA ENTRADA A LA PRIMERA ETAPA DE FLUIDIZACIÓN, ES LA QUE MUESTRA UN ÁREA MAYOR DE SU SUPERFICIE MOJADA DESPUÉS DE LOS 40 MIN. QUE SE DEJARON TRANSCURRIR EN LA PRUEBA; LA MUESTRA (S1), QUE NO HABÍA SIDO AGLOMERADA, PRESENTA LA MENOR ÁREA HÚMEDA MIEN TRAS QUE (14) QUE TEÓRICAMENTE DEBÍO SER LA MEJOR EN ESE ASPECTO POR HABER SIDO SOMETIDA A TODO EL PROCESO DE INSTANTANIZACIÓN, NO LOGRÓ HUMECTARSE TANTO COMO (11).

LA MUESTRA (S2) FUÉ DESCARTADA DE ESTAS DETERMINACIONES YA QUE A SIMPLE VISTA ERA POSIBLE DETECTAR UN APELMAZAMIENTO ANORMAL CUYO ORIGEN SE DISCUTIRÁ MÁS ADELANTE; LAS MUESTRAS (12) E (13) RE PRESENTAN PASOS INTERMEDIOS ENTRE (11) E (14) POR LO QUE SUS CA RACTERÍSTICAS SERÁN ANALIZADAS JUNTO CON LAS DEMÁS MUESTRAS EN LA PARTE DE ESTRUCTURA DE LA PARTÍCULA.

RETOMANDO LOS RESULTADOS DE HUMECTABILIDAD DEL POLVO "DAREL" SE TIENE QUE SE LLEVÓ A CABO LA COMPARACIÓN DE RESULTADOS CON LOS MOSTRADOS POR UNA MUESTRA DE LECHE CONSIDERADA INSTANTÁNEA, TAL CO MO SE PROPUSO EN LA METODOLOGÍA. LA MUESTRA SELECCIONADA PARA LA COMPARACIÓN FUÉ LA MARCA "NIDO" LA CUAL, COMO SE APPRECIA EN LA GRÁ FICA NO. 1, TIENE UN ÍNDICE DE HUMECTABILIDAD BASTANTE BUENO DE 30 SEG. LO CUAL SEGURAMENTE INFLUYE PARA HACER DE DICHA MARCA LÍDER ABSOLUTO DE VENTAS EN EL PAÍS.

ANALIZANDO LA TENDENCIA EN LA GRÁFICA NO. 1 SE PUEDE PENSAR QUE LA HUMECTABILIDAD DEL POLVO DE LA PARTE ALTA DEL SECADOR NO ES BUENA Y QUE EL PROCESO DE AGLOMERACIÓN FAVORECE ESA PROPIEDAD, QUE SE PIERDE EN PARTE AL SER FLUIDIZADO EL ALIMENTO; ESO QUIERE DECIR QUE LA FLUIDIZACIÓN ESTÁ EN ALGUNA FORMA DESTRUYENDO LAS CUALIDADES DE LA PARTÍCULA QUE FOMENTAN LA GENERACIÓN DE FUERZAS CAPILARES QUE FORZAN AL AGUA A ENTRAR HACIA EL CENTRO DE AQUELLA. TAMBIÉN ES POSIBLE QUE LA DISMINUCIÓN DE LA AFINIDAD POR EL AGUA SE DEBA A LA GENERACIÓN DE GRASA LIBRE DURANTE EL SECADO POR FLUI DIZACIÓN QUE IMPARTE UN CARÁCTER HIDRÓFOTO A LA PARTÍCULA, O BIEN QUE AMBOS PROCESOS DE DETERIORO SE DAN AL MISMO TIEMPO.

CONJUNTANDO CON LO ANTERIOR LA INFORMACIÓN DE LA GRÁFICA NO. 2 PARECERÍA EXISTIR UNA CONTRADICCIÓN EN LOS RESULTADOS PUES ES EL PRODUCTO TERMINADO (14) EL QUE MUESTRA UNA CANTIDAD MENOR DE POLVO INSOLUBLE, FUERA DE LA MUESTRA "NIDO", SIENDO POR EL CONTRA RIO LA LECHE QUE ENTRA A FLUIDIZARSE LA QUE AL FINAL RESULTA ME NOS SOLUBLE. LO QUE SUCEDE ES QUE DURANTE LA DETERMINACIÓN DEL ÍN DICE DE SOLUBILIDAD, LA DISPERSIÓN MECÁNICA DEL POLVO NO CONDUCI E A LA FORMACIÓN DE UNA EMULSIÓN COMO EN EL CASO DE LA LECHE "NIDO" SINO QUE SE GENERA UN COLOIDE DEL TIPO QUE IMPIDE LA HUMECTACIÓN DEL ALIMENTO QUE AL MISMO TIEMPO ACTÚA COMO ESTABILIZANTE DE UNA CAPA DE ESPUMA QUE SE FORMA A SU VEZ POR LA INCORPORACIÓN DE AIRE DURANTE LA AGITACIÓN. ESTA ESPUMA FLOTA SOBRE EL RESTO DEL LÍQUIDO QUE AL SER CENTRIFUGADO DEJA ESCAPAR EL AIRE, QUEDANDO AHORA SEDI MENTADA LA FRACCIÓN COLOIDAL, EN EL CASO DE (11); EN EL CASO DE LA MUESTRA (14), LA CENTRIFUGACIÓN DEMUESTRA QUE EL SEDIMENTO ES DE

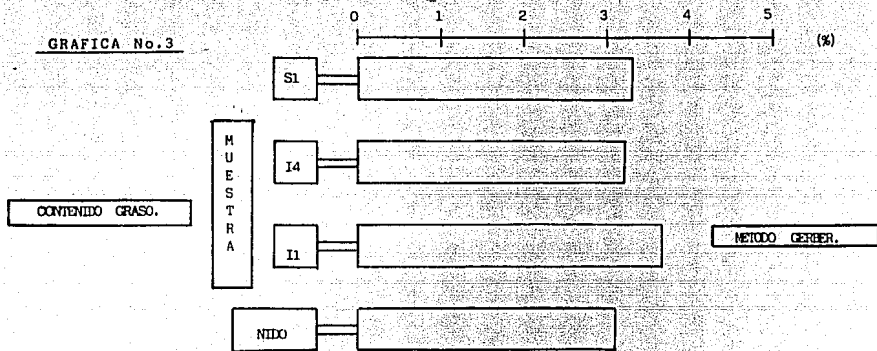
UN TIPO MUCHO MÁS DENSO, FORMADO POR PARTÍCULAS SÓLIDAS DISTINGUIBLES UNAS DE OTRAS. LO ANTERIOR SE EXPLICA ASUMIENDO QUE LOS COLOIDES FORMADOS POR LAS MUESTRAS (11) E (14) SON SUSTANCIALMENTE DIFERENTES ENTRE SÍ PUES MIENTRAS EN EL PRIMER CASO ES EVIDENTE QUE SE TRATA PRINCIPALMENTE DE UN GEL PROTÉICO, EN EL SEGUNDO SE TRATA DE UNA SUSPENSIÓN QUE OCUPARÁ DEFINITIVAMENTE UN VOLUMEN MENOR AL SER SEDIMENTADA POR LO QUE, SIENDO LA DETERMINACIÓN DE TIPO VOLUMÉTRICO, EL ÍNDICE SERÁ SUPERIOR PARA (11). ESTA SITUACIÓN DE APARENTE DISCREPANCIA EN CUANTO A LO QUE SUCEDE DURANTE LA FLUIDIZACIÓN VIENE ENTONCES A SER EN REALIDAD UNA CONFIRMACIÓN DE QUE EXISTE UN DETERIORO DE LAS CALIDADES EN ESTE PROCESO. YA QUE MIENTRAS LA APARICIÓN DE UN GEL ES NATURAL EN ESTE TIPO DE PRODUCTOS E INDICA QUE POR LO MENOS UNA BUENA PARTE DE LAS PROTEÍNAS CONSERVA SU ESTRUCTURA EN CAPACIDAD DE RETENER AGUA, LA FORMACIÓN DE UNA SUSPENSIÓN VIENE A SER UNA SEÑAL DE AUMENTO EN LA RIGIDEZ SUPERFICIAL Y DAÑO A LOS COMPONENTES RESPONSABLES DE LA RETENCIÓN DEL AGUA. ÉSTO SE REFUERZA POR EL HECHO DE QUE EL FABRICANTE RECOMIENDA EXPRESAMENTE QUE SU PRODUCTO NO SEA ALMACENADO EN REFRIGERACIÓN UNA VEZ RECONSTITUIDO PUES OCURRIRÍA UNA SEPARACIÓN DE FASES POR SEDIMENTACIÓN QUE SÓLO ES POSIBLE SI LA DISPERSIÓN ES DEL TIPO DE UNA SUSPENSIÓN Y NO DE UN GEL, Y MENOS AÚN DE UNA EMULSIÓN COMO ES EL CASO DE LA LECHE "NIDO".

### III.1.3 CONTENIDO GRASO.

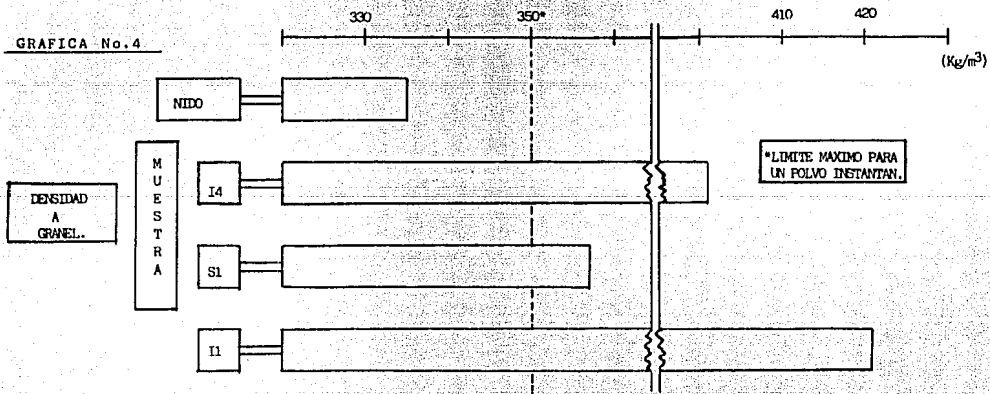
LAS CONSIDERACIONES EXPUESTAS HACEN VER LA NECESIDAD DE PROFUNDIZAR EN LO CONCERNIENTE A LA ESTRUCTURA Y COMPOSICIÓN DEL POLVO, ASÍ COMO EN SUS CONDICIONES DE ELABORACIÓN. POR ELLO, EL SIGUIENTE PASO FUE LA DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO GRASO EN LAS MUESTRAS QUE, SEGÚN LOS RESULTADOS, PUEDE INDICAR UN EXCESO EN LA DOSIFICACIÓN DE LA MEZCLA GRASA/LEÇTINA DE RESULTADOS FRACAMENTE NEGATIVOS PARA LA HUMECTABILIDAD DEL POLVO, MIENTRAS QUE DE SER BAJA LA PROPORCIÓN DE GRASA SERÍA INDICATIVO DE UNA MALA ESTANDARIZACIÓN Y RESTARÍA IMPORTANCIA A ESE GRUPO DE COMPUESTOS EN LAS CALIDADES FINALES DEL PRODUCTO. LA GRÁFICA NO. 3 DEMUESTRA QUE EN CUANTO A CANTIDAD NO EXISTE PROBLEMA CON LA GRASA PUES LAS MUESTRAS SE HALLAN DENTRO DE LO ESTABLECIDO.

EL PROBLEMA RESIDE EN CUANTO A LA CALIDAD, ES DECIR: ¿CUÁNTA DE ESA GRASA SE ENCUENTRA EN FORMA LIBRE? DESAFORTUNADAMENTE POR CARENCIA DEL EQUIPO NECESARIO NO FUE POSIBLE CUANTIFICAR LA FRACCIÓN LIBRE DE GRASA QUE, COMO SE HA DICHO, ES UNA DE LAS VARIABLES QUE INCIDEN DIRECTAMENTE EN LA HUMECTABILIDAD. SIN EMBARGO, SÍ ES POSIBLE EVALUAR EN FORMA INDIRECTA LA PRESENCIA DE GRASA LIBRE SI SE CUENTA CON LOS ANTECEDENTES ACERCA DE LA MANERA EN QUE FUE PRODUCIDA LA LECHE Y ATRAVÉS DE LOS RESULTADOS DE HUMECTABILIDAD. EN BASE A LO ANTERIOR SE PUEDE CONSTATAR QUE HAY RAZONES PARA SUPONER QUE EL PROBLEMA EXISTE EN ESTE CASO YA QUE LA SOLA FORMACIÓN DEL

GRAFICA No.3



GRAFICA No.4



HIDROCOLOIDE PROTÉICO NO ES SUFICIENTE PARA EXPLICAR LA TOTAL REPELENCIA DEL POLVO AL AGUA, POR LO QUE NECESARIAMENTE SE DEBE LLAMAR LA CAUSA DE ELLO EN EL EFECTO QUE EJERCEN LAS DIVERSAS OPERACIONES DEL PROCESO SOBRE EL GLÓBULO DE GRASA. POR AHORA, SE PUEDE DESTACAR UNA OBSERVACIÓN HECHA DURANTE LA OBTENCIÓN DE LAS MUESTRAS, Y ES QUE LLAMO MUCHO LA ATENCIÓN QUE AL TOMAR LA MUESTRA DE EL PUNTO (S1) EL POLVO ESTUVIERA COMPLETAMENTE SECO POR LO QUE SE DECIDIÓ DETERMINAR SU ÍNDICE DE HUMECTABILIDAD EN EL MISMO SITIO SIN ESPERAR A TRAERLA AL LABORATORIO EN LA UNAM; EL RESULTADO FUE MUY INTERESANTE YA QUE EL POLVO RECORRIÓ INSTANTÁNEAMENTE LOS DOS PRIMEROS PASOS DE LA REHIDRATACIÓN (HUMECTABILIDAD Y SUMERGIBILIDAD) EMPLEANDO MENOS DE 15 SEG EN HUMECTARSE. LO RELEVANTE DESDE EL PUNTO DE VISTA DE LA GRASA LIBRE ES QUE AL SUMERGIRSE LA MASA DE POLVO, QUEDÓ FLOTANDO EN SU LUGAR UNA CAPA DE GRASA QUE DE NO HABER ESTADO LIBRE HUBIERA PERMANECIDO CON EL RESTO DEL SÓLIDO. LA PREGUNTA QUE SURGE INMEDIATAMENTE ES: ¿POR QUÉ ENTONCES LAS MUESTRAS DE ESE PUNTO TRAÍDAS AL LABORATORIO RESULTAN MENOS HIDRÓFILAS A PESAR DE QUE EL ESTADO GENERAL DE SUS PROTEÍNAS ERA BUENO YA QUE PUEDEN FORMAR UN GEL? Y LA RESPUESTA SIRVE PARA PENETRAR A EL FENÓMENO DE LA RECONSTITUCIÓN: AL TOMAR LA MUESTRA, ÉSTA HABÍA SIDO DESHIDRATADA MOMENTOS ANTES Y POR TANTO ESTABA SUFICIENTEMENTE CALIENTE COMO PARA QUE LA GRASA ESTUVIESE LÍQUIDA Y FUERA POR ELLO FÁCILMENTE SEPARADA DE LOS COMPUESTOS HIDROSOLUBLES FORMANDO AL SALIR UNA FASE LOCALIZADA.

UNA OBSERVACIÓN ADICIONAL ES QUE LA FASE DE GRASA QUE SE SEPARÓ ERA COMPLETAMENTE CONTÍNUA Y DE HABER EXISTIDO INTACTA LA MEMBRANA GLOBULAR CON SUS COMPONENTES TENSOACTIVOS, ÉSTA SE HABRÍA PRESENTADO COMO EMULSIÓN EN AGUA; ADEMÁS EN EL MOMENTO DE LA PRUEBA NO HABÍA TRANSCURRIDO EL TIEMPO SUFICIENTE COMO PARA QUE LA GRASA MIGRASE A LA SUPERFICIE DE LAS PARTÍCULAS. AL ANALIZAR MÁS A DELANTE CON DETALLE EL MECANISMO DE SECADO Y LA HOMOGENIZACIÓN SE TRATARÁN LAS RAZONES DE LA GENERACIÓN DE GRASA LIBRE.

#### 1.1.4 MONITOREO DE LA HUMEDAD RELATIVA.

EN LO TOCANTE A LA HUMEDAD RELATIVA DEL AIRE EN LA ZONA DE PROCESO, EL DIAGRAMA NO. 2 INCLUYE LOS PROMEDIOS MONITOREADOS DURANTE LA VISITA A LA PLANTA Y EN ÉL SE PUEDE OBSERVAR QUE ÉSTA VARIABLE NO ES SIGNIFICATIVA PARA EL PROBLEMA EN ESTUDIO PUES LOS DATOS SON BASTANTE BAJOS A PESAR DE QUE LLOVÍA EN EL EXTERIOR AL TOMAR LAS LECTURAS; ÉSTE PARÁMETRO ES IMPORTANTE POR TRATARSE DE UN PRODUCTO ALTAMENTE HIGROSCÓPICO QUE PUEDE ABSORBER LA CANTIDAD SUFICIENTE DE AGUA QUE PROPICIE EL CRECIMIENTO MICROBIANO, EL DETERIORO ENZIMÁTICO DE LA GRASA O LA FORMACIÓN DE GRUPOS INSOLUBLES QUE DAN ADEMÁS UN MAL ASPECTO AL ALIMENTO EN EL ENVASE. NÓTESE GUALMENTE QUE LA HUMEDAD RELATIVA DEL AIRE EMPLEADO EN EL SECADO NO AFECTA AL PROCESO PUES SE HALLA EN EL NIVEL ADECUADO; HAY QUE DESTACAR AQUÍ, SIN EMBARGO, QUE LA HUMEDAD MÁS ALTA (60%) SE PRE-

-SENTÓ AL FINAL DEL SECADO Y ENFRIAMIENTO POR FLUIDIZACIÓN, PRECISAMENTE EN LA ZONA EN QUE EL PRODUCTO ES RETENIDO EN BOLSAS EN ESPERA DE SER ENVASADO.

### III.1.5 TRATAMIENTOS PREVIOS AL SECADO.

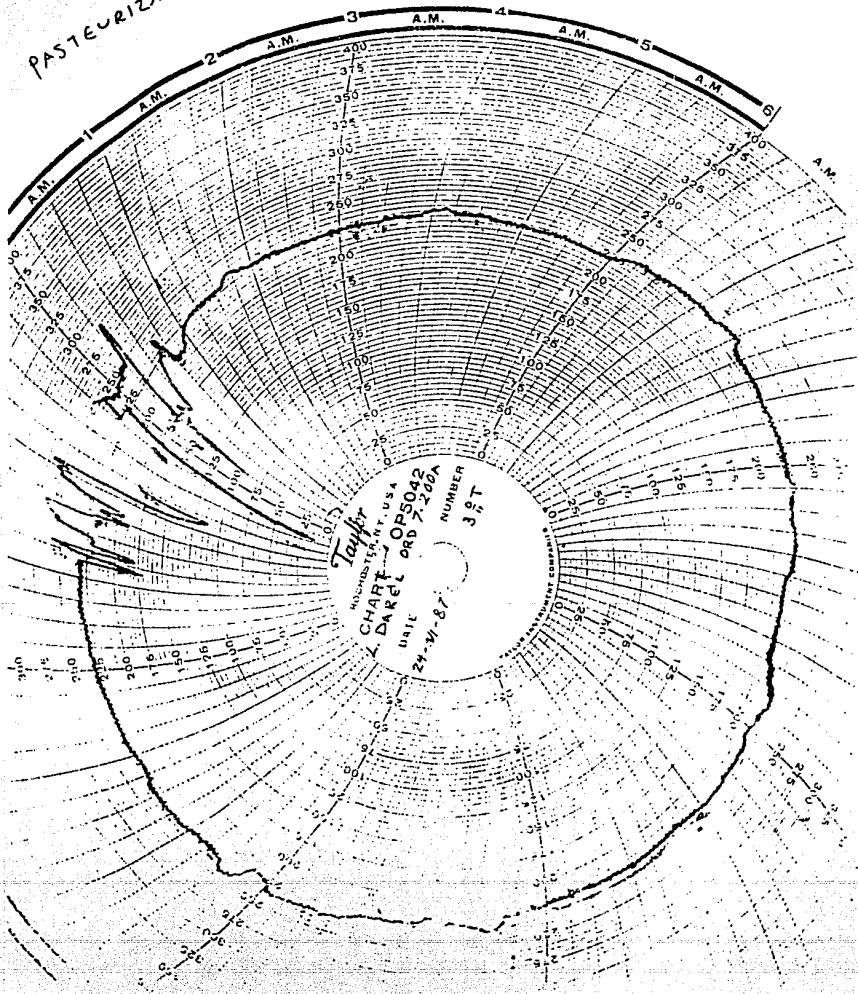
AL ANALIZAR LOS PROCESOS PREVIOS AL SECADO SE ENCONTRÓ QUE LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN DENOTAN QUE DESDE EL PUNTO DE VISTA DE LA INSTANTANIZACIÓN DEL PRODUCTO NO EXISTE PROBLEMA HASTA LA SALIDA DE LA LECHE DE LA ESTANDARIZACIÓN.

EL PRIMER PROBLEMA SE ENCUENTRA CON LA PASTEURIZACIÓN, DONDE LA GRÁFICA DE CONTROL DE PROCESO (GRÁFICA NO.5) DEMUESTRA QUE SE ESTÁ EXCEDIENDO CON MUCHO EL VALOR MÁXIMO DE 74°C QUE SE RECOMIENDA COMO TEMPERATURA DE PROCESO SI EL TIEMPO DE RESIDENCIA COMO EN ESTE CASO DE 30 SEG; LOCALIZANDO ESOS VALORES EN LA GRÁFICA DE LA FIGURA NO.29 SE PUEDE CONCLUIR QUE CON LAS CONDICIONES MANEJADAS SE ESTÁN DESNATURALIZANDO CUANDO MENOS EL 50% DE LAS PROTEÍNAS MÁS TERMOLÁBILES DEL SUERO, LO CUAL ES UN PUNTO EN CONTRA DE LA CALIDAD INSTANTÁNEA DEL ALIMENTO INDEPENDIENTEMENTE DE OTROS INCONVENIENTES COMO LA PÉRDIDA DE NUTRIENTES Y EL CONSUMO EXCESIVO DE VAPOR Y AGUA DE ENFRIAMIENTO.

DE LA HOMOGENIZACIÓN SE PUEDE DECIR QUE LA TEMPERATURA ESTÁ DENTRO DE LOS LÍMITES ADECUADOS AUN CUANDO LA PRESIÓN DE TRABAJO (45 BAR APROX.) ES BAJA SI SE PRETENDE UNA EFICIENCIA ALTA; A PESAR DE ELLO SE DEBE TOMAR EN CUENTA QUE EN LA PLANTA EXISTE UNA SEGUNDA HOMOGENIZACIÓN CON EL EQUIPO EMPLEADO PARA BOMBPEAR LA LECHE A LAS BOQUILLAS DE ASPERSIÓN CON LA PRESIÓN REQUERIDA. ESTA ÚLTIMA PRESIÓN ES, COMO SE MENCIONÓ, DE APROX. 103 BAR Y SI BIEN COMO HOMOGENIZACIÓN NO SIGNIFICA MAYOR DETERIORO PARA EL ALIMENTO, SÍ ES CONVENIENTE ASEGURARSE QUE EXISTA TIEMPO SUFICIENTE PARA LA REGENERACIÓN DE LA MEMBRANA GLOBULAR ANTES DE QUE LLEGUE EL LÍQUIDO AL SECADOR.

LA CONCENTRACIÓN ES UN PUNTO MÁS DONDE SE DETECTARON SITUACIONES QUE AFECTAN LA BUENA RECONSTITUCIÓN DEL POLVO. EN ESTE CASO LAS TEMPERATURAS DE PROCESO PUEDEN CONSIDERARSE CORRECTAS PERO LA CONCENTRACIÓN DE SÓLIDOS TOTALES A LA SALIDA ESTÁ MUY POR ABAJO DEL 50% RECOMENDADO, CON LO QUE ES PRESUMIBLE QUE SE CAIGA EN LA SITUACIÓN ESTUDIADA POR BEYERLEIN (19) QUIEN CONCLUYE QUE UNA BAJA CONCENTRACIÓN DE SÓLIDOS ANTES DEL SECADO ES NEGATIVA PARA LA HUMECTABILIDAD DEL PRODUCTO; AUNQUE ESTE AUTOR NO PROFUNDIZA EN LAS CAUSAS DEL FENÓMENO EN EL CASO DE LA LECHE ENTERA, SE PUEDE DECIR QUE UNA BAJA CONCENTRACIÓN DE SÓLIDOS O LO QUE ES IGUAL, UNA ALTA CONCENTRACIÓN DE AGUA EN EL ALIMENTO AL ENTRAR AL SECADO SE COMPENSA CON EL AUMENTO EN LA TEMPERATURA DEL AIRE, LA DISMINUCIÓN DEL GRADIENTE DE TEMPERATURAS DEL PRODUCTO, EL AUMENTO DEL TIEMPO DE RESIDENCIA O EL AUMENTO DE LOS COEFICIENTES DE TRANSFERENCIA.

PASTEURIZADOR





-DE CALOR AL ALIMENTO MEDIANTE UN PATRÓN DE FLUJO DE AIRE CON RESPECTO AL PRODUCTO MÁS SEVERO. PENSANDO EN TÉRMINOS DE RECONSTITUCIÓN DE LA LECHE TODAS LAS MODIFICACIONES MENCIONADAS SON NOCIVAS YA SEA POR FAVORECER EL DETERIORO TÉRMICO, POR SIGNIFICAR UN MECANISMO MUY VIOLENTO DE SECADO O POR FAVORECER LA DISGREGACIÓN DE LA PARTÍCULA.

OTRO PROCESO CON RIESGO DE DAÑO PARA LA LECHE ES EL PRECALENTAMIENTO QUE OPERA ELEVANDO LA TEMPERATURA HASTA UN LÍMITE DE CUIDADO EN COMBINACIÓN CON TIEMPOS DE MÁS DE 15 SEG. Y MÁS SI SE CONSIDERA LA PRESIÓN A QUE SE SOMETE AL LÍQUIDO PARA ESPREARLO POR LAS BOQUILLAS EN EL HOMOGENIZADOR QUE SIGUE AL PRECALENTAMIENTO EN UNA COMBINACIÓN DE PRESIÓN Y TEMPERATURA DE ESTA NATURALEZA ES BASTANTE PELIGROSA PUES SE DA EN LOS LÍMITES DE PROVOCAR CON SEGURIDAD LA FORMACIÓN DE GRASA LIBRE.

### III.1.6 DENSIDAD A GRANUL.

LA GRÁFICA NO.4 PRESENTA LOS RESULTADOS DE LA DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD A GRANUL DEL POLVO. HACIENDO EL ANÁLISIS DE ELLA, RESALTA PRIMERAMENTE LA DIFERENCIA ENTRE LAS 2 MARCAS COMPARADAS PUES MIENTRAS LA MUESTRA "NIDO" SE HALLA EN EL RANGO DE UN POLVO INSTANTÁNEO, EL RESTO DE LAS MUESTRAS SOBREPASA EL VALOR LÍMITE HASTA EN MÁS DE UN 18% EN EL CASO DE (11) Y POR 4.3% EN EL CASO DE (13). EN LOS RESULTADOS DEL POLVO "DAREL" SE PRESENTAN NUEVAMENTE INDICIOS DE DEFICIENCIAS EN EL SECADO E INSTANTANIZACIÓN YA QUE MIENTRAS (12) E (14) MUESTRAN UNA TENDENCIA CORRECTA PUES ES DE ESPERARSE QUE EL POLVO QUE ENTRA A FLUIDIZACIÓN SALIENDO DEL AGLOMERADO CONTenga UNA CANTIDAD MAYOR DE HUMEDAD SIENDO POR ELLO MÁS DENSO QUE EL PRODUCTO ACABADO, NO RESULTA LÓGICO QUE EL POLVO DE LA PARTE SUPERIOR DEL SECADOR QUE NO FUE INSTANTANIZADO TENGA UNA DENSIDAD A GRANUL MENOR QUE EL PRODUCTO FINAL Y MUCHO MENOS A EL LÍMITE DE POLVO INSTANTÁNEO. CON RESPECTO A ESTO SE TIENE QUE SI SE CONSIDERA QUE EL AGUA RETENIDA POR ABSORCIÓN EN EL AGLOMERADO NO CAUSA ENCORIMIENTO DE LA PARTÍCULA DURANTE EL SECADO POR FLUIDIZACIÓN, LA DIFERENCIA DE 3.6% ENTRE LAS DENSIDADES DE (11) E (14) NO PUEDE ATRIBUIRSE SOLAMENTE A LA PÉRDIDA DE PESO YA QUE DE LOS DATOS DE OPERACIÓN DEL FLUIDIZADOR SE SABE QUE LA DIFERENCIA DE HUMEDADES ENTRE EL PRODUCTO QUE ENTRA Y EL QUE SALE ES DE ÚNICAMENTE 2.2 PUNTOS PORCENTUALES, POR LO QUE NECESARIAMENTE SE DEBE PENSAR QUE EXISTE UNA REDUCCIÓN EN LOS ESPACIOS LIBRES ENTRE PARTÍCULAS DURANTE LA FLUIDIZACIÓN.

POR EL MOMENTO SE DISCUTIRÁN LAS RAZONES DE QUE RESULTE SER CONTRAPRODUCENTE INSTANTANIZAR AL PRODUCTO CON LAS CONDICIONES DE PROCESO MANEJADAS. SE TOMA EN CUENTA QUE LA DENSIDAD A GRANUL ES UNA MEDIDA DE LOS ESPACIOS VACÍOS QUE SE PRETENDEN GENERAR CON LA INSTANTANIZACIÓN PARA FAVORECER LA PRESENCIA DE FUERZAS CAPILARES Y EL AUMENTO DE LA SUPERFICIE ESPECÍFICA DEL GRANULADO. LOS RESULTADOS INDICAN QUE LA LECHE QUE SE SUPONE PROVIENE DE UNA DE LAS PRIMERAS ETAPAS DE SECADO (S1) TIENE UNA ESTRUCTURA MÁS CON

-VENIENTE QUE LA QUE SALE DE LA AGLOMERACIÓN -(11)-. DE ESTAS CONSIDERACIONES SURGE LA NECESIDAD DE SABER QUÉ PASA CON LA ESTRUCTURA GRANULAR A LO LARGO DEL PROCESO, COSA QUE SE ESTUDIA A CONTINUACIÓN.

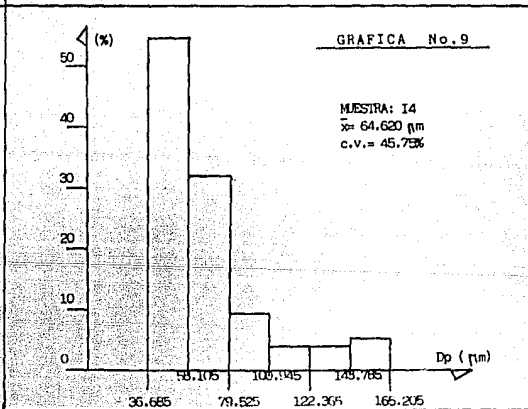
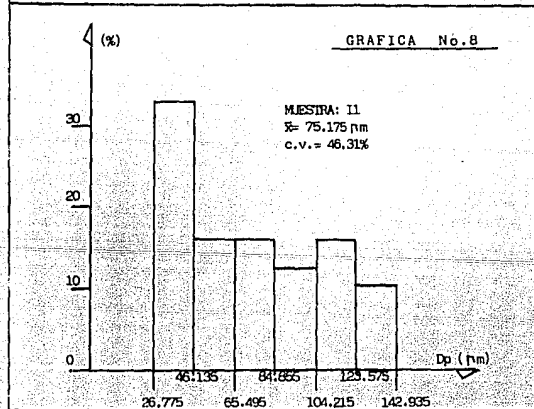
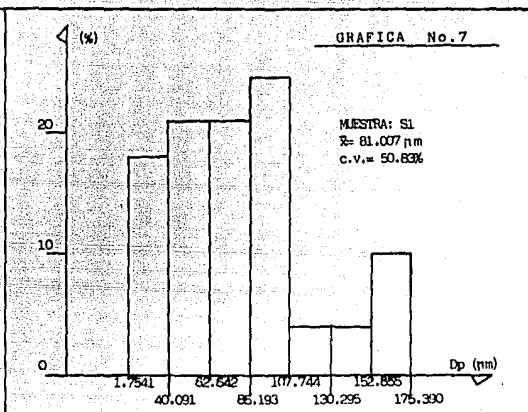
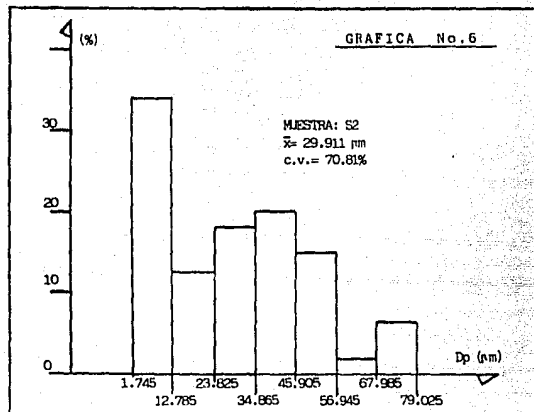
### III.1.7 ESTRUCTURA DE PARTÍCULA Y DISTRIBUCIÓN DE TAMAÑOS.

EN EL CAPÍTULO ANTERIOR SE MENCIONÓ QUE UNA PARTE IMPORTANTE DE ÉSTE ESTUDIO ES LA UTILIZACIÓN DE UNA TÉCNICA DE MICROSCOPÍA ELECTRÓNICA DE BARRIDO PARA EL ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LA PARTÍCULA; DE DICHA TÉCNICA PROVIENEN LAS FOTOGRAFÍAS PRESENTADAS EN EL ANEXO CORRESPONDIENTE. LAS FOTOGRAFÍAS 1, 3, 4 Y 5 PERTENECEN A LAS MUESTRAS S1, S2, 14 E 11, RESPECTIVAMENTE Y SIRVIERON DE BASE PARA EFECTUAR LAS MEDICIONES NECESARIAS PARA OBTENER LAS DISTRIBUCIONES DE TAMAÑOS DE LAS GRÁFICAS NO. 6 A LA NO. 9. DE ESAS GRÁFICAS RESALTA LA DISMINUCIÓN DEL TAMAÑO MEDIO QUE SE DA ENTRE (S1) E (14) PASANDO POR (11), QUE SE COMBINA CON EL AUMENTO PROGRESIVO DEL NÚMERO DE PARTÍCULAS DE MENOR TAMAÑO; LO ANTERIOR EXPLICA EL COMPORTAMIENTO OBSERVADO EN LA DENSIDAD A GRANULOS Y LLEVA A LA CONCLUSIÓN DE QUE SE ESTÁN RESTANDO PUNTOS A LA HUMECTABILIDAD A MEDIDA QUE TRANSCURRE EL PROCESO PUES SE HA DICHO YA QUE LAS PARTÍCULAS PEQUEÑAS TIENEN UNA GRAN TENSIÓN SUPERFICIAL QUE IMPIDE QUE SE MOJE SU SUPERFICIE, SUMÁNDOSE AL EFECTO DE LA GRASA LIBRE. DE IGUAL FORMA, UNA PARTÍCULA PEQUEÑA REDUCE SENSIBLEMENTE LA POROSIDAD DEL CONJUNTO ASÍ COMO EL VOLUMEN DE ESPACIOS LIBRES.

ES NOTORIO TAMBIÉN EN LAS GRÁFICAS QUE LA DISPERSIÓN ESTADÍSTICA DISMINUYE A MEDIDA QUE TRANSCURRE EL PROCESO LO QUE IMPLICA UNA TENDENCIA A UNIFORMAR TAMAÑOS CADA VEZ MENORES; HAY QUE CONSIDERAR ASÍ MISMO QUE LOS VALORES DEL COEFICIENTE DE VARIACIÓN SON MUY GRANDES DESDE EL COMIENZO DEL SECADO POR LO QUE NO EXISTE REGULARIDAD EN LA FORMACIÓN DE LA GOTA O LAS CONDICIONES DE SECADO ESTÁN PROPICIANDO LA DISPERSIÓN DE TAMAÑOS Y DISMINUYENDO LA MEDIA, NO AUMENTÁNDOLA COMO DEBIESE SUCEDER.

AL COMPARAR LAS GRÁFICAS NO. 8 Y 9 ENTRE SÍ SE ENCUENTRA LA EXPLICACIÓN A LA REDUCCIÓN DE ESPACIOS VACÍOS DURANTE LA INSTANTANIZACIÓN Y ES QUE LA PROPORCIÓN DE PARTÍCULAS PEQUEÑAS CRECE RÁPIDAMENTE DURANTE LA FLUIDIZACIÓN A PESAR DE QUE EN ESE PROCESO SE EFECTÚE UNA SEPARACIÓN NEUMÁTICA DE FINOS, LO CUAL SE EXPLICA A SU VEZ POR LA FRAGILIDAD MECÁNICA DEL GRÁNULO QUE SE ANALIZA POSTERIORMENTE CON DETALLE. UNA OBSERVACIÓN QUE RESALTA LA IMPORTANCIA DE LA AGLOMERACIÓN COMO UN PROCESO QUE NO SOLO FORMA GRÁNULOS SI NO QUE TAMBIÉN PROPORCIONA UNIFORMIDAD DE TAMAÑOS, ES QUE ES PRECISAMENTE EN (11) DONDE SE NOTA UN MAYOR EQUILIBRIO EN LAS FRECUENCIAS DE CADA CLASE DE DIÁMETROS QUE SE PIERDE POR CIERTO CON LA FLUIDIZACIÓN.

LA MUESTRA S2 (FOTOGRAFIA 3) PRESENTA CARACTERÍSTICAS PARTI-



-CULARES QUE LA COLOCAN APARTE; DICHA MUESTRA FUÉ OBTENIDA EN UNA ZONA CERCANA A LAS PAREDES DEL EQUIPO DADO QUE A LA SALIDA DE ÉS TE EL CONO INFERIOR SE HACE ANGOSTO. COMO SE APRECIA EN LA FOTO, LAS PARTÍCULAS SE ENCUENTRAN ADHERIDAS ENTRE SÍ EN FORMA DE CON GLOMERADOS APELMAZADOS. LOS RESULTADOS DEL ANÁLISIS DEL CONTENIDO GRASO ARROJAN UN VALOR PARA ÉSTA MUESTRA DE 7.12% QUE COMO SE COMPRENDERÁ, ES DEMASIADO ELEVADO POR LO QUE BUSCANDO UNA EXPLICACIÓN BASADA EN LAS OBSERVACIONES EN PLANTA SE TIENE QUE EXISTE UNA INCORRECTA INCORPORACIÓN DE LA MEZCLA GRASA/LECITINA A LA PARTÍCULA POR EFECTO DE LA COLOCACIÓN Y LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN DE LA BOQUILLA DE DOBLE FLUJO. LO ANTERIOR OCASIONA QUE LAS PARTÍCULAS MÁS PEQUEÑAS SE PEGUEN Y UNA VEZ ASÍ POR EFECTO DE SU MAYOR DENSIDAD RELATIVA VAN HACIA LAS PAREDES DEL EQUIPO. ESTAS PARTÍCULAS LLEGAN EN OCASIONES HASTA EL PRODUCTO FINAL DIFICULTANDO AÚN MÁS LA REHIDRATACIÓN Y DISMINUYENDO LA CALIDAD Y LA APARIENCIA DEL ALIMENTO; POSTERIORMENTE AL ANALIZAR EL PROCESO DE SECADO SE ABUNDA RA SOBRE ÉSTE PROBLEMA.

LA FOTOGRAFÍA 6 CORRESPONDE A LA MUESTRA DE LECHE "NIDO" QUE SIRVE DE PATRÓN DE REFERENCIA EN ÉSTE ANÁLISIS DE RESULTADOS. SON IMPORTANTES VARIAS OBSERVACIONES A PARTIR DE ESA FOTO: LA PRIMERA ES QUE LAS PARTÍCULAS INDIVIDUALES NO TIENEN UNA FORMA DEFINIDA EN CONTRASTE CON LA MARCADA ESFERICIDAD DE LAS PARTÍCULAS "DAREL" Y DE ELLO SE PUEDE COMENTAR QUE SU FORMA IRREGULAR DETERMINA QUE NO SOLO EXISTA UNA BAJA TENSIÓN SUPERFICIAL AL CONTACTO CON AGUA, SINO QUE PROPORCIONA UNA MAYOR ÁREA ESPECÍFICA DE CONTACTO Y FACILITA LA AGLOMERACIÓN. LA SEGUNDA OBSERVACIÓN ES RESULTADO EN PARTE DE LA ANTERIOR Y ES EL HECHO DE QUE LA MUESTRA PRESENTA UNA DISPOSICIÓN IRREGULAR EN EL ESPACIO, CON GRANDES VOLÚMENES VACÍOS QUE PROMUEVEN LA RÁPIDA PENETRACIÓN DEL AGUA AL INTERIOR DEL GRÁNULO. AL COMPARAR ÉSTO CON EL PRODUCTO TERMINADO (14) SE VE QUE LA DISTRIBUCIÓN PROMEDIO ENTRE UNA PARTÍCULA Y OTRA ES MUY PEQUEÑA EN EL POLVO "DAREL", ADEMÁS DE QUE EN DICHA MUESTRA SE DA LA IMPRESIÓN DE QUE SE TRATA MAS BIEN DE PARTÍCULAS INDIVIDUALES DE GRAN TAMAÑO NO APENAS UNIDAS ENTRE SÍ Y NO DE PARTÍCULAS REDUCIDAS PERO DE TAMAÑO UNIFORME QUE SE UNEN EN GRANDES CADENAS DONDE PROPORCIONALMENTE EXISTA UN ÁREA DE CONTACTO CON EL AGUA MAYOR PARA CADA UNA, COMO ES EL CASO DEL POLVO "NIDO".

LA TERCERA OBSERVACIÓN ES QUE LAS FUERZAS CAPILARES QUE SE PUEDEN GENERAR SON MAYORES EN LA FOTO 6 DADA LA DISTRIBUCIÓN O EL ACOMODO DEL AGLOMERADO EN EL ESPACIO QUE LE IMPARTE LA BAJA DENSIDAD A GRANEL QUE LO CARACTERIZA, EN CONTRASTE CON LAS REDUCIDAS ZONAS DE LA FOTO DE (14) QUE NO SE HALLAN OCUPADAS POR EL SÓLIDO. AQUÍ CONVIENE HACER LA COMPARACIÓN ENTRE LAS FOTOS 5 (11) Y 4 (14) DONDE LA PRIMERA POSEE DEFINITIVAMENTE MEJORES CALIDADES QUE LA SEGUNDA DESDE EL PUNTO DE VISTA DEL VOLUMEN DE ESPACIOS VACÍOS Y LA UNIFORMIDAD. EN ÉSTE MOMENTO, SE TIENE UNA VISIÓN GENERAL DE LAS DEFICIENCIAS ESTRUCTURALES EN EL PRODUCTO CUYOS ORIGENES PARTEN DEL SECADO, COMBINÁNDOSE CON LA INSTANTANIZACIÓN POR LO QUE A CONTINUACIÓN SE ANALIZARÁN DICHS PROCESOS.

### III.1.8 ANÁLISIS DEL PROCESO DE SECADO.

DEL SECADO POR ASPERSIÓN SURGE UN PRIMER PROBLEMA CON LA COLOCACIÓN DE LAS BOQUILLAS DE ATOMIZACIÓN DE LECHE, CUYA POSICIÓN EN RELACIÓN A LA CORRIENTE DE AIRE HACE QUE EL PATRÓN DE FLUJO DE EL POLVO SEA CASI PERPENDICULAR A LA DIRECCIÓN DEL AIRE Y NO PARALELO COMO ES DE ESPERAR DE UN DISEÑO CON LA RELACIÓN ALTURA/DIÁMETRO QUE ESTE EQUIPO POSEE. ESTO QUIERE DECIR QUE EL LÍQUIDO SE ESTÁ ESPREANDO PRÁCTICAMENTE HACIA EL DIÁMETRO Y NO VERTICALMENTE HACIA ABAJO LO QUE ORIGINA QUE ENTRE OTRAS COSAS, EL TIEMPO DE FORMACIÓN DE LA GOTA A PARTIR DEL CONO DE ASPERSIÓN SEA MUY REDUCIDO POR LO QUE UNA PARTE DEL LÍQUIDO ALCANZA LAS PAREDES DEL EQUIPO ANTES DE ESTAR COMPLETAMENTE SECO Y TERMINA POR SECARSE EN ESE SITIO. LA FOTOGRAFÍA 2, DE LA MUESTRA DE LA PARTE SUPERIOR DEL EQUIPO MUESTRA UNA GOTA A MEDIO CAMINO DE FORMARSE Y QUE SE SECÓ ANTES DE CONSEGUIRLO; ESTO ES GRAVE CONSIDERANDO QUE EN TODO MOMENTO LA SUPERFICIE INTERIOR DEL SECADOR DEBE ESTAR LIBRE DE LECHE YA QUE TODO LO QUE ALLÍ QUEDA TERMINARÁ POR QUEMARSE O EN EL MEJOR DE LOS CASOS, CON UN EVIDENTE OBSCURECIMIENTO QUÍMICO. A CAUSA DE ESTO, SON FRECUENTES LOS PAROS PARA LIMPIEZA DONDE SE DEPERDICIA UNA GRAN CANTIDAD DE LECHE PERO LO MÁS GRAVE DESDE EL PUNTO DE VISTA DE ESTE ESTUDIO ES QUE CON ESTE PATRÓN DE FLUJO DE AIRE Y PRODUCTO EL SECADO ESTÁ COMPLETÁNDOSE PRÁCTICAMENTE EN UNA ZONA DEMASIADO REDUCIDA DE APENAS 1 M DE ALTURA.

LAS CORRIENTES PERPENDICULARES O CASI PERPENDICULARES QUE SE TIENEN ENTRE AIRE Y LÍQUIDO GENERAN UNA TURBULENCIA QUE HACE QUE SE TRABAJE CON ALTOS COEFICIENTES CONVECTIVOS DE TRANSMISIÓN DE CALOR Y CON ELLO, QUE EXISTA EN EL MECANISMO DE SECADO UNA PRIMERA FASE MUY CORTA Y EL PROCESO SEA TAN VIOLENTO QUE EL MECANISMO DE SECADO DURANTE LA SEGUNDA FASE SEA PREFERENTEMENTE POR FLUJO DE VAPORES POR DIFERENCIA DE PRESIONES TOTALES EN DETRIMENTO DE LA POROSIDAD CARACTERÍSTICA DEL SÓLIDO SECADO POR MECANISMOS MÁS LENTOS COMO LA DIFUSIÓN Y LA CAPILARIDAD.

LAS FOTOGRAFÍAS 8, 11 Y 12 (ESTAS DOS ÚLTIMAS CORRESPONDEN A LA MISMA PARTÍCULA A DIFERENTES AUMENTOS) ILUSTRAN LO ANTERIOR: EN LA FOTO 8 SE PUEDEN APRECIAR GRANDES VACUOLAS INTERNAS GENERADAS POR EL VAPORES QUE PRESIONA HACIA AFUERA COMPACTANDO LAS PAREDES DE LA PARTÍCULA RESTÁNDOLE LA POROSIDAD Y LA CAPILARIDAD QUE PUEDE HABER TENIDO ANTES DE LLEGAR A LA SEGUNDA FASE DE SECADO TAL COMO SE VE EN LAS FOTOS 11 Y 12; COMO SE SABE, LA POROSIDAD Y LA CAPILARIDAD SON CARACTERÍSTICAS DE LA PARTÍCULA QUE FAVORECEN SU DISPERSIÓN AL SER VÍAS PARA LA PENETRACIÓN DE AGUA. ESTAS FOTOS CONTRASTAN CON LA NO. 13, DE LECHE "NIDO", EN DONDE ES POSIBLE VER QUE EL DIÁMETRO DE LOS CAPILARES DE LAS PAREDES ES HASTA 10 VECES SUPERIOR AL DE LAS MUESTRAS "DAREL" YA QUE EN EL PRIMER CASO EL DIÁMETRO DE LOS CAPILARES O POROS ES EN PROMEDIO DE 0.22 MICRAS, CONTRA APENAS 0.025 MICRAS DEL SEGUNDO; ESTA SITUACIÓN SE HACE MÁS PATENTE

-TE AL COMPARAR EL TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS DE AMBAS MUESTRAS: UNAS 5 MICRAS PARA "NIDO", AUNQUE ES DIFÍCIL DAR UNA MEDIDA CARACTERÍSTICA POR LA IRREGULARIDAD DE SU FORMA Y LA DIFICULTAD PARA DIFERENCIAR UNA PARTÍCULA DE OTRA DENTRO DE UN GRÁNULO.

LA RÁPIDA TRANSFERENCIA DE MASA ORIGINADA POR EL SECADO SÚBITO ASÍ COMO EL RECALENTAMIENTO A QUE SE VE SOMETIDA LA PARTÍCULA EN EL RESTO DE SU ESTANCIA DENTRO DEL SECADOR, OCASIONAN QUE LA ESTRUCTURA DE SUS PAREDES SEA MECÁNICAMENTE FRÁGIL LO CUAL SE COMBINA CON LA PRESENCIA DE LAS VACUOLAS INTERNAS PARA HACER QUE DIFÍCILMENTE TENGA EL POLVO LA RESISTENCIA REQUERIDA EN LOS TRATAMIENTOS POSTERIORES, EN SU MANEJO Y SU TRANSPORTE. EN LA FOTOGRAFÍA 7 SE MUESTRA UNA PARTÍCULA QUE YA DESDE LA PARTE MÁS ALTA DEL EQUIPO PRESENTA SIGNOS DE DESHIDRATACIÓN SEVERA PUES LA SUPERFICIE SE HALLA FISURADA E INCLUSO PRESENTA EL HUECO DEJADO POR EL VAPOR AL ESCAPAR DEL INTERIOR HORADANDO LAS PAREDES POR NO TENER ÉSTAS LA POROSIDAD SUFICIENTE PARA PERMITIR SU SALIDA SIN DAÑARLAS Y/O POR CARECER DE LA ESTRUCTURA O LA ELASTICIDAD QUE LAS HICIERA CAPACES DE RESISTIR EL SÚBITO AJUSTO DE PRESIÓN. POR OTRA PARTE, SI BIEN LA ESFERICIDAD ES UNA CARACTERÍSTICA DE LAS PARTÍCULAS OBTENIDAS CON BOQUILLAS DE ALTA PRESIÓN, EN ESTE CASO ELLO SE VE FAVORECIDO POR EL MECANISMO DE SECADO; ADEMÁS DE LA TENSIÓN SUPERFICIAL Y LA DIFICULTAD DE AGLOMERARSE CON LA DENSIDAD ADECUADA ORIGINADAS POR LA FORMA ESFÉRICA, LA PRESIÓN HACIA LAS PAREDES DESDE DENTRO Y EL RECALENTAMIENTO DE LA PARTÍCULA CAUSAN UNA GRAN RIGIDEZ SUPERFICIAL QUE DISMINUYE LA SOLUBILIDAD DEL PRODUCTO. COMO COMPARACIÓN, SE PRESENTAN LAS FOTOGRAFÍAS 9 Y 14 DE LECHE "NIDO"; EN ÉSTAS PARTÍCULAS ES DE NOTAR, APARTE DE LA FORMA Y LA POROSIDAD, LA TEXTURA DE LA SUPERFICIE QUE ES RUGOSA Y NO LISA Y RÍGIDA Y SIN SIGNOS DE FRAGILIDAD MECÁNICA O DETERIORO TÉRMICO.

UN INCONVENIENTE MÁS DEL ARREGLO DE BOQUILLAS, ESPECIALMENTE EN LO TOCANTE A HUMECTABILIDAD, ES UN FENÓMENO CURIOSO DE ENCAPSULAMIENTO QUE SE PRESENTA EN LAS MUESTRAS ANALIZADAS Y PARA EL QUE SE PROPONE LA SIGUIENTE EXPLICACIÓN: LOS ALTOS COEFICIENTES GLOBALES DE TRANSMISIÓN DE CALOR A QUE SE SOMETE LA GOTA INCLUSO ANTES DE SEPARARSE COMPLETAMENTE DEL CONO DE ASPERSIÓN, ORIGINAN GRADIENTES DE TEMPERATURA IMPORTANTES A LO LARGO DE LA BREVÍSIMA PRIMERA FASE DE SECADO QUE A SU VEZ GENERAN UNA TURBULENCIA DEL LÍQUIDO POR MEDIO DE CORRIENTES QUE VIAJAN RÁPIDAMENTE EN FORMA CONCÉNTRICA Y QUE COMBINADAS CON LA PRESIÓN INTERNA PROPICIAN UNA ESTRATIFICACIÓN DE LOS COMPONENTES SÓLIDOS CUYA CONCENTRACIÓN VA EN AUMENTO LO QUE HACE QUE LAS FRACCIONES RELATIVAMENTE MÁS DENSAS VIAJEN AL CENTRO Y, SI LA GOTA NO ESTALLA POR EFECTO DE LA PRESIÓN, SE TIENE QUE LA FRACCIÓN LIGERA E HIDRÓFOBA (LA GRASA) ENCAPSULA A LAS MÁS DENSAS, QUE SON HIDRÓFILAS. ESTO ES POSIBLE SI LA GRASA SE HALLA LIBRE Y COMO SE EXPLICÓ, EXISTEN RAZONES PARA SOSPECHAR UNA ALTA PROPORCIÓN DE GRASA EN ESA FORMA DESDE EL INICIO DEL SECADO O INCLUSO ANTES.

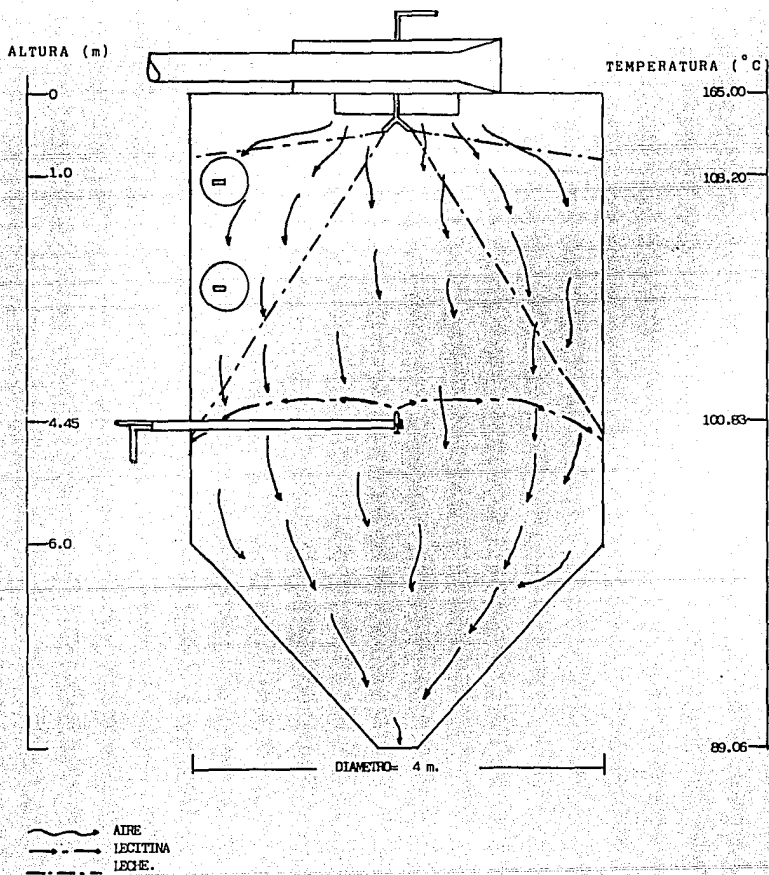
LAS FOTOGRAFÍAS 10, 15 Y 16 DAN CUENTA DEL ENCAPSULAMIENTO OBSERVADO ASÍ COMO DE UNA SERIE DE DETALLES ADVERSOS A UNA O MÁS DE LAS 4 PROPIEDADES DE RECONSTITUCIÓN COMO SON LA RIGIDEZ, LA ESFERICIDAD, LA GRAN DISPERSIÓN DE TAMAÑOS, EL NÚMERO DE PARTÍCULAS MECÁNICAMENTE FRÁGILES O DAÑADAS, LA GRAN COMPACTACIÓN DE LAS PAREDES DEL SÓLIDO Y LA NULA AGLOMERACIÓN.

EL PERFIL DE TEMPERATURAS DENTRO DEL SECADOR OBTENIDO EN LA PLANTA SE PRESENTA EN EL DIAGRAMA NO. 2, Y EN EL SE ILUSTRAN TAMBIÉN LAS TRAYECTORIAS SEGUIDAS POR EL AIRE, LA LECHE Y LA MEZCLA DE LECITINACIÓN; ESTE PERFIL VIENE A REFORZAR LA EXPLICACIÓN PROPUESTA DE UN SECADO RÁPIDO CON UNA PRIMEÑA FASE MUY CORTA Y UN MECANISMO DE DESHIDRATACIÓN EN LA SEGUNDA FASE POR GRADIENTES DE PRESIÓN POR EVAPORACIÓN INTERNA. ES POSIBLE OBSERVAR EN EL PERFIL QUE MIENTRAS EN EL TERMETRO DE ALTURA DISPONIBLE PARA EL SECADO LA CAÍDA EN LA TEMPERATURA DEL AIRE ES DE 56.800, EN LOS SIGUIENTES 3.45 M. ÉSTA DISMINUYE SÓLO 7.3700; ESTO SIGNIFICA QUE LA ELIMINACIÓN DE AGUA SE CONCENTRA EN UNA ZONA DE 1 M AL TIEMPO QUE EN EL 57.5% DE LA ALTURA DISPONIBLE PARA EL SECADO PRÁCTICAMENTE NO EXISTE EVAPORACIÓN, DÁNDOSE ÚNICAMENTE UN RECALENTAMIENTO Y DESHIDRATACIÓN EXCESIVA EN ESTE TRAMO.

SIGUIENDO LA TRAYECTORIA DESCENDENTE DEL POLVO EN EL SECADOR SE PRESENTA EL PROBLEMA DE LA LECITINACIÓN; EN EL DIAGRAMA NO. 3 SE PUEDE VER LA POSICIÓN DE LA BOQUILLA DE DOBLE FLUJO EMPLEADA PARA TAL EFECTO Y LA TRAYECTORIA DE LA MEZCLA IMPULSADA POR ÉSTA. DE ELLO, Y DE LAS CONSIDERACIONES EXPUESITAS PARA EL PROCESO DE SECADO, SE PUEDE OBSERVAR QUE UN ÁNGULO DE ASPERSIÓN TAN ABIERTO EN COMBINACIÓN CON LA POSICIÓN DE LAS BOQUILLAS DE LECHE Y EL HECHO DE QUE SE HA SECADO AL POLVO RÁPIDAMENTE Y EN EXCESO RESULTA QUE ÉSTE LLEGA A ENCONTRARSE CON LA LECITINA POR DEBAJO DE LA BOQUILLA DE DOBLE FLUJO Y EN CONDICIONES DE HIGROSCOPICIDAD ELEVADA LO QUE OCASIONA QUE EL FOSFOLÍPIDO PENETRE AL INTERIOR DE LAS PARTÍCULAS MÁS GRANDES Y NO, COMO SE REQUIERE, INCORPORÁNDOSE EN UNA DELGADA CAPA SUPERFICIAL AL TIEMPO QUE LAS PARTÍCULAS MENORES ABSORBEN TANTA LECITINA QUE TERMINAN POR APELMATARSE COMO LO MUESTRA LA FOTO 3. AL INSPECCIONAR POR DENTRO EL EQUIPO DURANTE UNO DE LOS CONSTANTES PAROS POR LIMPIEZA A QUE ORILLA LA ACUMULACIÓN DE LECHE EN LAS PAREDES, SE PUDO OBSERVAR CLARAMENTE COMO LA ACUMULACIÓN EMPIEZA A 1 M DE LA PARTE SUPERIOR Y PRESENTA UN COLOR CLARO MUY DIFERENTE AL DE LA MASA ADHERIDA EN LAS PAREDES POR DEBAJO DE LA BOQUILLA DE DOBLE FLUJO, QUE TIENE EL COLOR PARDO CARACTERÍSTICO DE LA MEZCLA GRASA/LECITINA.

EN LA ZONA DE INCORPORACIÓN DE LECITINA Y HASTA LA SALIDA DEL SECADOR, EL ABATIMIENTO EN LA TEMPERATURA ES DE SÓLO 11.7700 POR LO QUE LA TEMPERATURA DE DESCARGA SE HALLA POR LO MENOS 90C ARRIBA DE LO RECOMENDADO COMO MÁXIMO PARA LA OBTENCIÓN DEL ESTADO DE TERMOPLASTICIDAD PROTÉICA Y CON UNA HUMEDAD BASTANTE POR ABAJO DE LO INDICADO (2%), QUE ES DE 8%, POR LO QUE DICHAS CONDICIONES NO SE PUEDEN APROVECHAR PARA INDUCIR LA AGLOMERACIÓN, POR ARADIDU

DIAGRAMA No. 3





RA, LA TEMPERATURA A LA QUE SE ENFRÍA EL PRODUCTO SE HALLA 300 A RRISA DEL MÁXIMO PERMISIBLE PARA NO IMPULSAR LA MIGRACIÓN DE LA GRASA LIBRE A LA SUPERFICIE.

AL DESCRIBIR EL PROCESO EN PLANTA SE MENCIONÓ QUE ÉSTE NO ES CONTINUO POR UN DESFASE EN LAS CAPACIDADES EN QUE SE HALLAN OPERANDO LOS EQUIPOS DE SECADO E INSTANTANIZACIÓN POR LO QUE EL ALIMENTO PERMANECE POR UN PERÍODO VARIABLE DENTRO DE BOLSAS DE POLIETILENO; ESTO, QUE POR SÍ SOLO ES UNA DESVENTAJA, VIENE A AGUDIZAR EL PROBLEMA DE LA GRASA LIBRE PUES LA PERMANENCIA DEL POLVO A UNA TEMPERATURA SUPERIOR A LA RECOMENDADA SE CONJUNTA CON QUE SE ESTÁ DÁNDO EL TIEMPO NECESARIO PARA LA DIFUSIÓN DE LA GRASA A LA SUPERFICIE. DE IGUAL MANERA, SE ESTÁ EJERCIENDO UN EFECTO MECÁNICO SOBRE LA PARTÍCULA AL SER DEVUELTO EL PRODUCTO A PROCESO A TRAVÉS DE UN TRANSPORTADOR HELICOIDAL QUE SEGÚN HECHOS (18) PUEDE SIGNIFICAR POR SÍ SOLO QUE EL CONTENIDO DE GRASA LIBRE SE ELEVE HASTA UN 8% DEL TOTAL DE GRASA LO CUAL EQUIVALDRÍA EN ESTE ASPECTO A HABER SECADO LA LECHE EN CILINDROS ROTATORIOS.

#### 11.1.9 ANÁLISIS DE LA INSTANTANIZACIÓN.

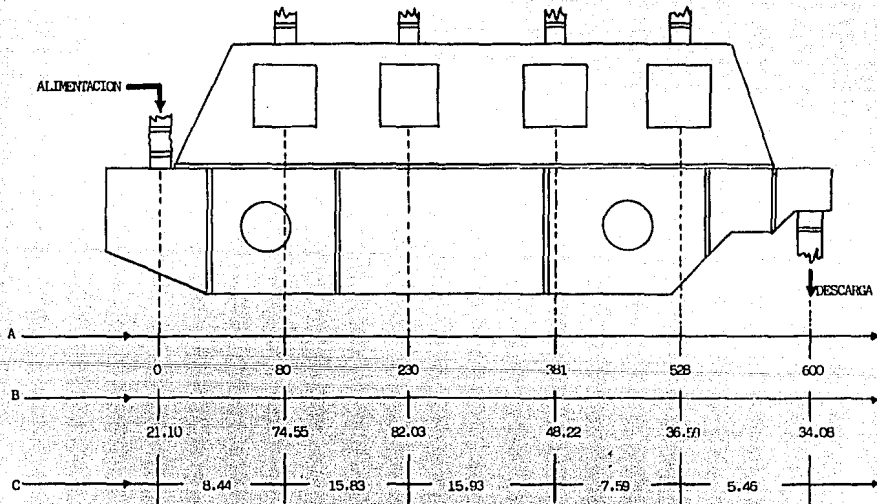
LOS EFECTOS NEGATIVOS DE LAS CONDICIONES DE PROCESO SOBRE EL ALIMENTO CONTINÚAN DÁNDOSE EN LA AGLOMERACIÓN; SE HAN MENCIONADO YA LAS CONDICIONES DE BAJA HUMEDAD A LAS QUE ENTRA (2%) Y SALE LA LECHE (4.2%) DE ESTA OPERACIÓN, Y ELLO TIENE COMO PRIMERA CONSECUENCIA QUE LOS GRÁNULOS PRESENTEN UN REDUCIDO TAMAÑO (COMO SE APRECIA EN LA GRÁFICA 9 DONDE EL MAYOR TAMAÑO DE PARTÍCULA ES DE MENOS DE 143 MICRAS) Y UNA GRAN FRAGILIDAD DEBIDO A LA UNIÓN DE GRASA (VER FOTOS 4 Y 5) PUES ÉSTA OCUPA UNA FRECUENTÍSIMA SUPERFICIE DE LA PARTÍCULA, SE PUEDE AFIRMAR POR ELLO QUE DURANTE LA AGLOMERACIÓN MÁS QUE INCREMENTAR EL TAMAÑO DE PARTÍCULA FORMANDO UN GRÁNULO ÚNICAMENTE SE ESTÁ HUMEDECIENDO AL POLVO YA QUE ÉSTE TIENE DE A ABSORBER EL AGUA ANTES DE MOJAR SU SUPERFICIE PARA PORPORCIONAR LA ADHERENCIA BUSCADA DEBIDO A LA HIGROSCOPICIDAD QUE TIENE LA PARTÍCULA AL ENTRAR A ESTE PROCESO.

HASTA ESTE MOMENTO DEL PROCESO EL POLVO PRESENTA MUCHAS DEFICIENCIAS QUE IMPIDEN SU RECONSTITUCIÓN, PERO ADEMÁS SE HA MENCIONADO QUE LOS ANÁLISIS DE HUMECTABILIDAD, SOLUBILIDAD Y DENSIDAD A GRANEL REVELAN QUE LA FLUIDIZACIÓN ESTÁ DAÑANDO AL PRODUCTO POR LO QUE SE INTENTARÁ EXPLICAR A CONTINUACIÓN LA RAZÓN DE ESTAS FORMACIONES.

LA LECHE QUE ENTRA A FLUIDIZARSE TIENE CARACTERÍSTICAS COMO LA FRAGILIDAD MECÁNICA, REDUCIDO TAMAÑO DE PARTÍCULA Y FORMA Y ESTRUCTURA DEFICIENTES QUE SE COMBINAN CON LOS EFECTOS DE UN SECADO FINAL PARA AFECTAR LAS CALIDADES FINALES DE RECONSTITUCIÓN. EL DIAPAMA NO. 4 MUESTRA EL PERFIL DE TEMPERATURAS A LO LARGO DEL CURSO DE FLUIDIZACIÓN, ASÍ COMO LOS RESULTADOS DE LA DETERMINA

D I A G R A M A    N o . 4

- A= LONGITUD (m).  
 B= TEMPERATURA (°C).  
 C= TIEMPO DE RESIDENCIA (seg).



CIÓN DE TIEMPOS DE RESIDENCIA EN CADA ETAPA. LA TENDENCIA NORMAL EN ESTOS EQUIPOS ES QUE LA TEMPERATURA DEL LECHO VAYA DE MÁS A MENOS PARA FINALIZAR CON 4% DE HUMEDAD EN EL POLVO Y A MENOS DE 30 OC, DEBIENDO ENTRAR EL ALIMENTO A ESTE PROCESO AL MENOS CON 12% DE HUMEDAD Y ENTRE 60 Y 70 OC; RESALTA POR ELLO QUE EN EL PERFIL OBTENIDO LA PRIMERA ETAPA MUESTRE UNA TEMPERATURA DE 74.55 OC MIENTRAS QUE LA SEGUNDA SE HALLA A 82.03 OC. LO QUE SUCEDE ES QUE LA TEMPERATURA DE ENTRADA DEL POLVO ES MUY BAJA, PERO LA QUE LA HUMEDAD DE ENTRADA ES TAMBIÉN MUY BAJA, ES NECESARIO DISMINUIR LA TEMPERATURA DEL AIRE PARA NO DAÑAR AL PRODUCTO PUES LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN ACTUALES CORRESPONDEN A UN PRODUCTO CON HUMEDAD DE ENTRADA MUY SUPERIOR. DEBIDO A LO ANTERIOR, SE ESTÁ CAUSANDO UNA DISGREGACIÓN DEL GRÁNULO, DE POR SÍ FRÁGIL, Y AÚN MÁS SE ESTÁ ROMPIENDO PARTÍCULAS COMPLETAS POR EL EFECTO COMBINADO DE LA ALTA TEMPERATURA Y LA BAJA HUMEDAD; EN LA FOTO 17 (14) DESTACA EL GRAN NÚMERO DE FRAGMENTOS PROVENIENTES DE PARTÍCULAS DESTRUIDAS QUE HAY EN UNA PEQUEÑA ZONA DE LA IMAGEN Y QUE SON UN OBSTÁCULO PARA LA RECONSTRUCCIÓN DADOS SU TAMAÑO Y SU DISTRIBUCIÓN EN LA MASA DE POLVO QUE HACEN QUE TAPEN LOS POCOS ESPACIOS VACÍOS ENTRE PARTÍCULAS EXISTENTES HASTA EL MOMENTO.

EL DAÑO TÉRMICO OCASIONADO AL ALIMENTO ES EVIDENTE AL ANALIZAR LOS TIEMPOS DE RESIDENCIA EN CADA ETAPA ASÍ COMO LA TEMPERATURA DE DESCARGA DEL POLVO.

POR OTRO LADO, EL EFECTO DE VIBRACIÓN DE LA MALLA AGREGENTA, LA REDUCCIÓN DE TAMAÑOS Y LA SITUACIÓN SE COMPLICA CON LA ELEVADA PROPORCIÓN DE FINOS QUE RESULTA DE ELLO Y QUE VAN A DAR AL AGLOMERADOR, ABSORBIENDO MUCHA DEL AGUA DESTINADA A LA LECHE PROVENIENTE DEL SECADO Y RETORRANDO A LA FLUIDIZACIÓN DONDE RECIBEN UN SEGUNDO TRATAMIENTO TÉRMICO EN UN LECHO, CUYO ESPESOR DE 3.5 CM, ES BASTANTE BAJO CONSIDERANDO QUE EL RECOMENDADO COMO MÍNIMO ES 5CM.

TODO LO ANTERIOR VIENE A SER EL PANORAMA DE LAS CONDICIONES DE ELABORACIÓN DE LA LECHE EMPLEADA EN LA 2A. FASE EXPERIMENTAL COMO MATERIA PRIMA QUE EXPLICAN LAS CAUSAS DE SU PÓBRE CALIDAD INSTANTÁNEA.

### 11.2. 2A. FASE. ANÁLISIS DE LA EXPERIMENTACIÓN EN EL LABORATORIO.

UNA VEZ CONOCIDA EN DETALLE LA PROBLEMÁTICA DE LA MATERIA PRIMA SE PASÓ A LA 2A. FASE EXPERIMENTAL QUE, COMO SE EXPLICÓ, CONSISTE EN UN PROCESO DE AGLOMERACIÓN Y SECADO POR FLUIDIZACIÓN BAJO CONDICIONES DIFERENTES A LAS COMUNMENTE EMPLEADAS CON LA LECHE SECADA POR ASPERSIÓN. INICIALMENTE, SE DISCUTIRÁ LO REFERENTE AL PROCESO DE AGLOMERACIÓN EXPERIMENTADO PARA PASAR DESPUÉS A LOS DIFERENTES ANÁLISIS Y DETERMINACIONES REALIZADOS ASÍ COMO LOS ASPECTOS DE LA FLUIDIZACIÓN.

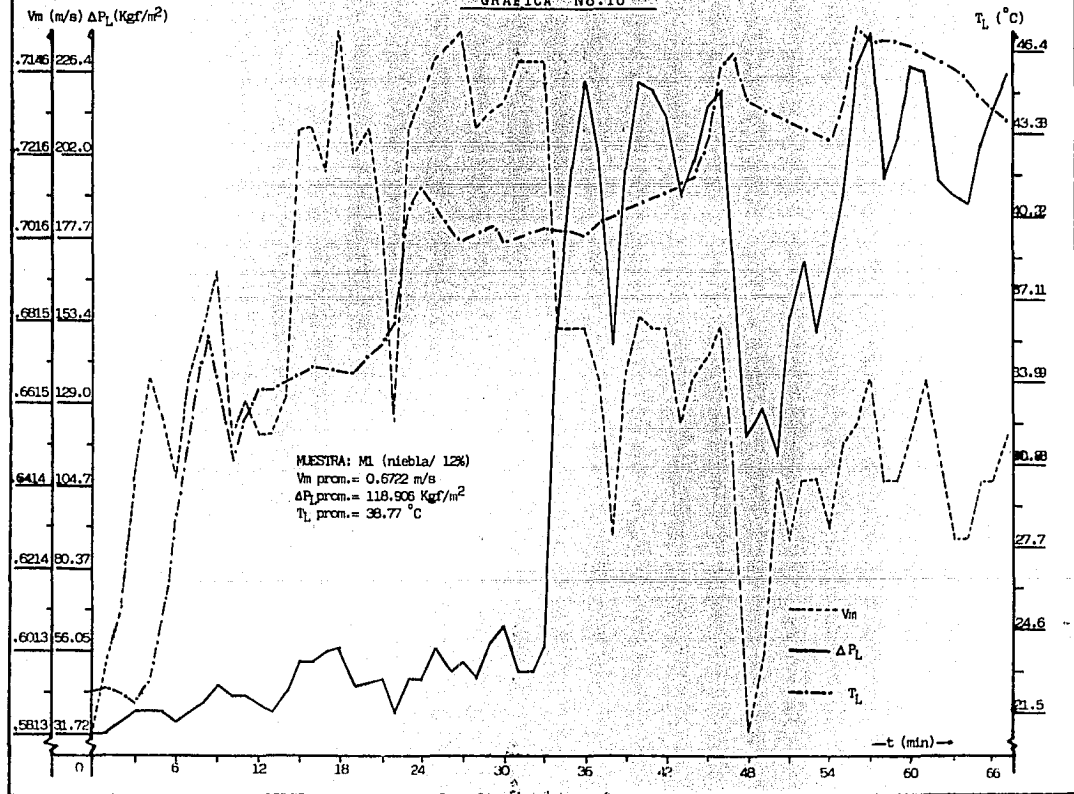
### III.2.1 INFLUENCIA DEL MECANISMO DE AGLOMERACIÓN.

LAS GRÁFICAS NO.10 A LA NO.17 REPRESENTAN LA OPERACIÓN DE FLUIDIZACIÓN DE CADA MUESTRA AGLOMERADA POR NIEBLA O POR VAPOR. EN ellas se describe el comportamiento de las variables de temperatura del lecho (TL), VELOCIDAD SUPERFICIAL DEL AIRE (VM) Y CAÍDA DE PRESIÓN DEL LECHO ( $\Delta P_L$ ) CONTRA EL TIEMPO (T) DE PROCESO. A PRIMERA VISTA DESTACA EL HECHO DE QUE LAS MUESTRAS AGLOMERADAS POR VAPOR (GRÁFICAS 16 Y 17) CORRESPONDIENTES A LAS MUESTRAS (M7) PARA LA AGLOMERACIÓN HASTA 15% DE HUMEDAD Y (M8) PARA LA AGLOMERACIÓN HASTA 12%, REQUIEREN DE MÁS O MENOS LA TERCERA PARTE DEL TIEMPO QUE SE EMPLEA EN SECAR LAS MUESTRAS AGLOMERADAS POR NIEBLA A LAS MISMAS CONDICIONES DE HUMEDAD; DE IGUAL MANERA, LA TEMPERATURA DE LECHO QUE ALCANZARON FUÉ BASTANTE MENOR QUE LA QUE MOSTRÓ LA LECHE AGLOMERADA POR NIEBLA AUNQUE EL COMPORTAMIENTO GENERAL DE LA TEMPERATURA FUE SIMILAR EN TODOS LOS CASOS.

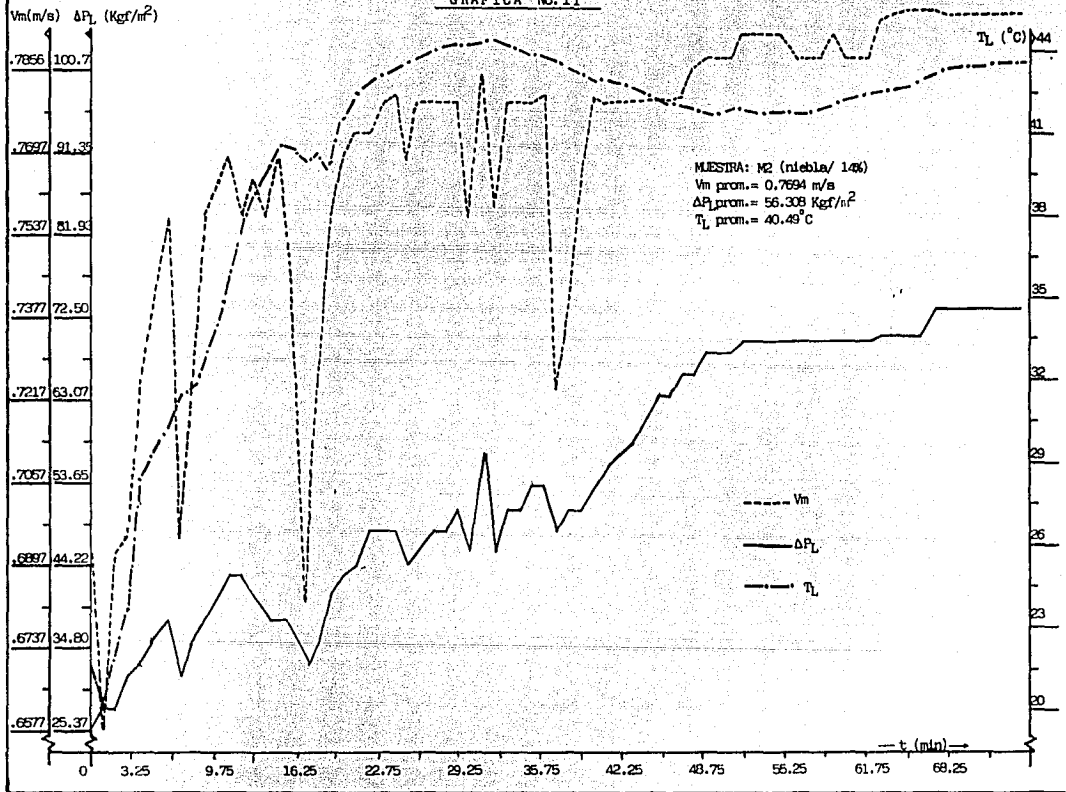
TAMBIÉN PUEDE OBSERVARSE QUE EL ASCENSO RÁPIDO DE LA TEMPERATURA DEL LECHO ANTES DE ALCANZAR UN PATRÓN MÁS O MENOS ESTABLE REQUIERE DE APROX. 15 MIN PARA TODAS LAS MUESTRAS. DE ESTAS OBSERVACIONES PUEDE DEDUCIRSE QUE SI BIEN LA INCORPORACIÓN DE AGUA A LA PARTÍCULA ES SUSTANCIALMENTE DIFERENTE SEGÚN EL MÉTODO DE AGLOMERACIÓN UTILIZADO, LA HUMEDAD MÁS SUPERFICIAL EN LA PARTÍCULA ES E LIMINADA DURANTE LOS PRIMEROS 15 MIN APROX. DEBIDO A QUE DURANTE ESE TIEMPO EL CALOR CEDIDO AL LECHO SE EMPLEA EN LA EVAPORACIÓN DE LA MAYOR PARTE DEL AGUA SIN CALENTAMIENTO DEL LECHO O SEA QUE EL AGUA EN ESE LAPSO LLEGA A LA SUPERFICIE A LA MISMA VELOCIDAD CON QUE LA HUMEDAD SE EVAPORA DE ALLÍ. TAMBIÉN ES POSIBLE DEDUCIR QUE EN EL CASO DE LA AGLOMERACIÓN POR VAPOR EL AGUA SE ENCONTRABA DE UNA MANERA MÁS SUPERFICIAL DEBIDO A QUE EL PROCESO DE SECADO SE EFECTUÓ MÁS RÁPIDAMENTE, A UNA TEMPERATURA MÁS BAJA, Y POR EL HECHO DE QUE EL TIEMPO QUE LA TEMPERATURA PERMANECE POR ABAJO DEL PROMEDIO EN CADA CASO ES MAYOR EN EL CASO DEL VAPOR.

DE LAS CONSIDERACIONES EXPUESTAS ACERCA DE LA TEMPERATURA DE LECHO SE DESPRENDE QUE EL AGLOMERADO TIENE CARACTERÍSTICAS DISTINTAS SEGUN EL MECANISMO POR EL QUE SE EFECTUE. LAS GRÁFICAS 18 A LA 25 PRESENTAN LOS RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE DISTRIBUCIÓN DE TAMAÑOS PARA HACER LA COMPARACIÓN ENTRE LOS DOS MECANISMOS DE AGLOMERACIÓN EXPERIMENTADOS SE HACE NOTAR QUE LA MEDIA DE TAMAÑOS ES MENOR EN EL CASO DEL VAPOR, LO CUAL QUIERE DECIR QUE ÉSTE MÉTODO ES MENOS EFECTIVO QUE LA NIEBLA, AL MENOS EN AUMENTAR EL DIÁMETRO DE PARTÍCULA. PARA DAR UNA EXPLICACIÓN A ELLO SE PROPONE UN MECANISMO DE REHUMECTACIÓN BASADO EN LAS OBSERVACIONES SOBRE EL TIEMPO DE SECADO Y EL COMPORTAMIENTO DE LA TEMPERATURA DURANTE LA FLUIDIZACIÓN, QUE ES EL SIGUIENTE: TOMANDO EN CUENTA QUE LA MATERIA PRIMA TIENE LA MISMA DISTRIBUCIÓN DE TAMAÑOS EN TODOS LOS CASOS ASÍ COMO LA MISMA HUMEDAD INICIAL SE TIENE QUE LA REHUMECTACIÓN POR NIEBLA PROVOCA (COMO SE MENCIONÓ EN LA TEORÍA DE AGLOMERACIÓN) QUE

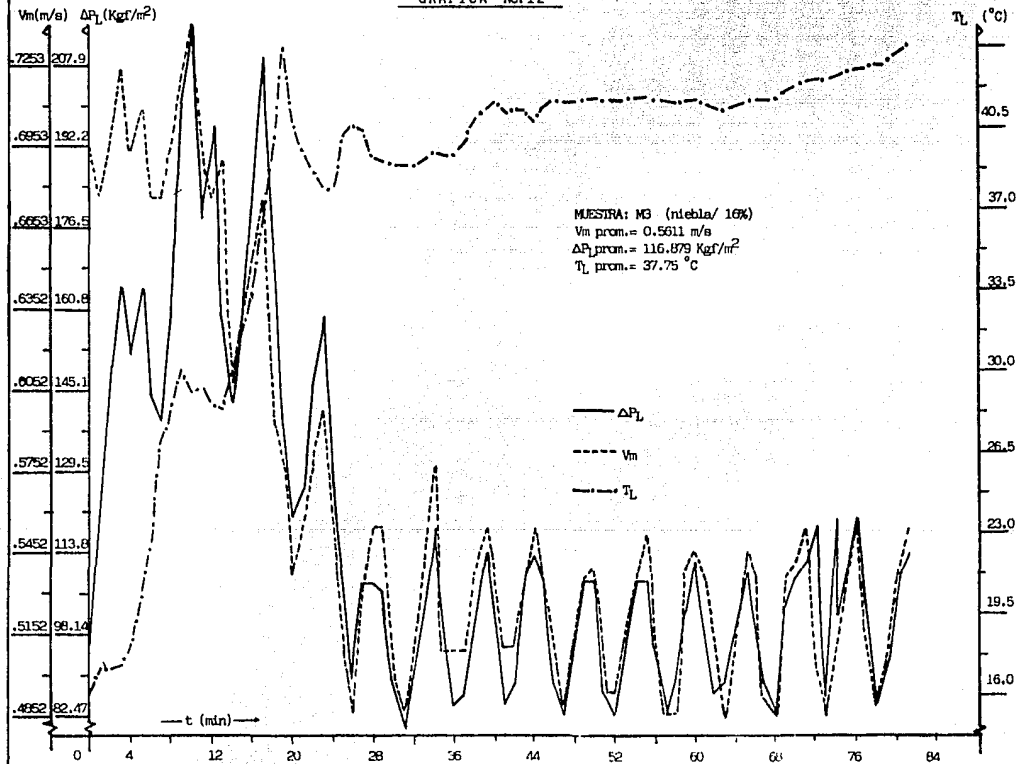
GRAFICA No.10



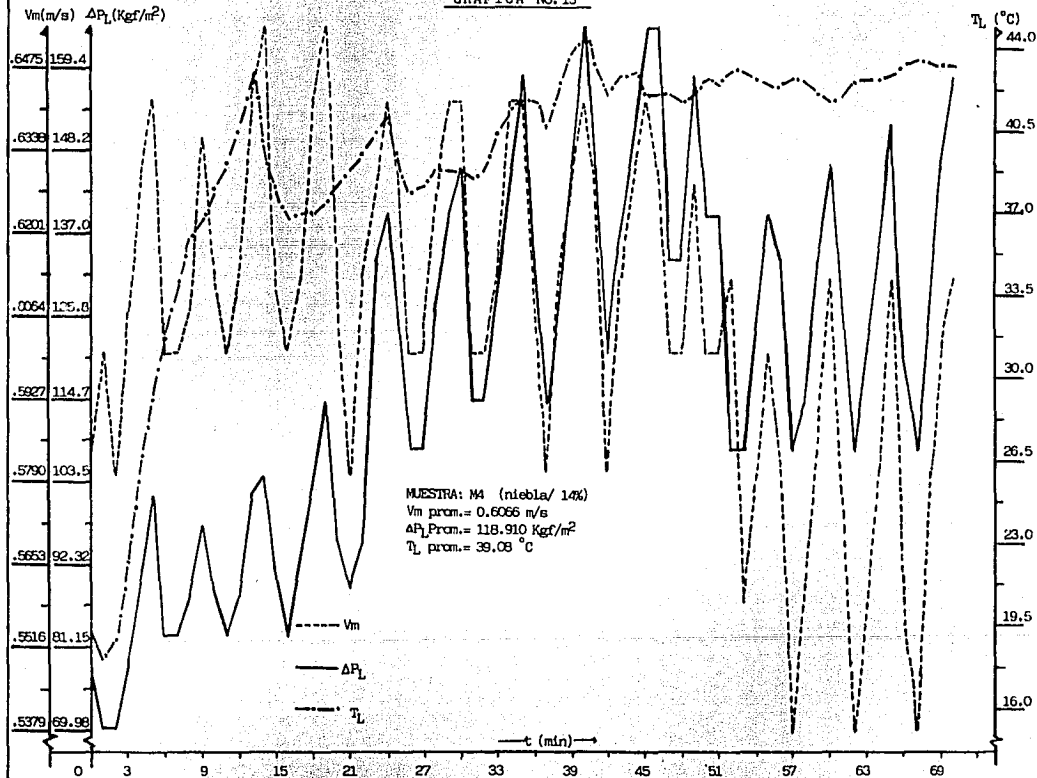
GRAFICA No. 11



GRAFICA No. 12

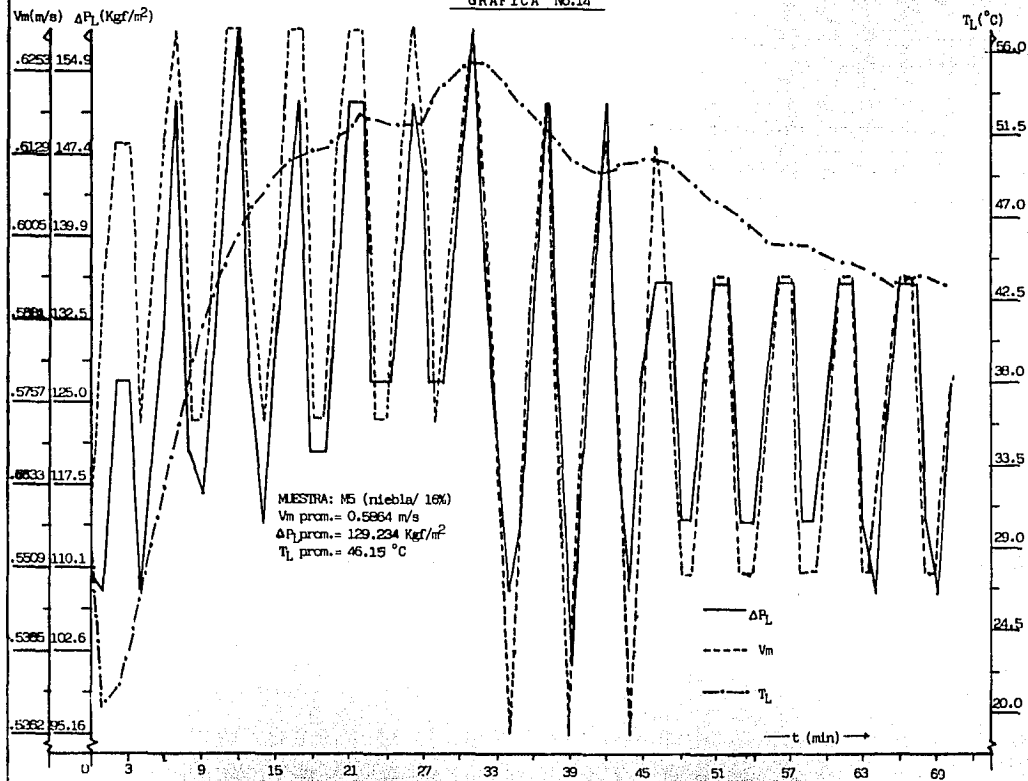


GRAFICA No. 13

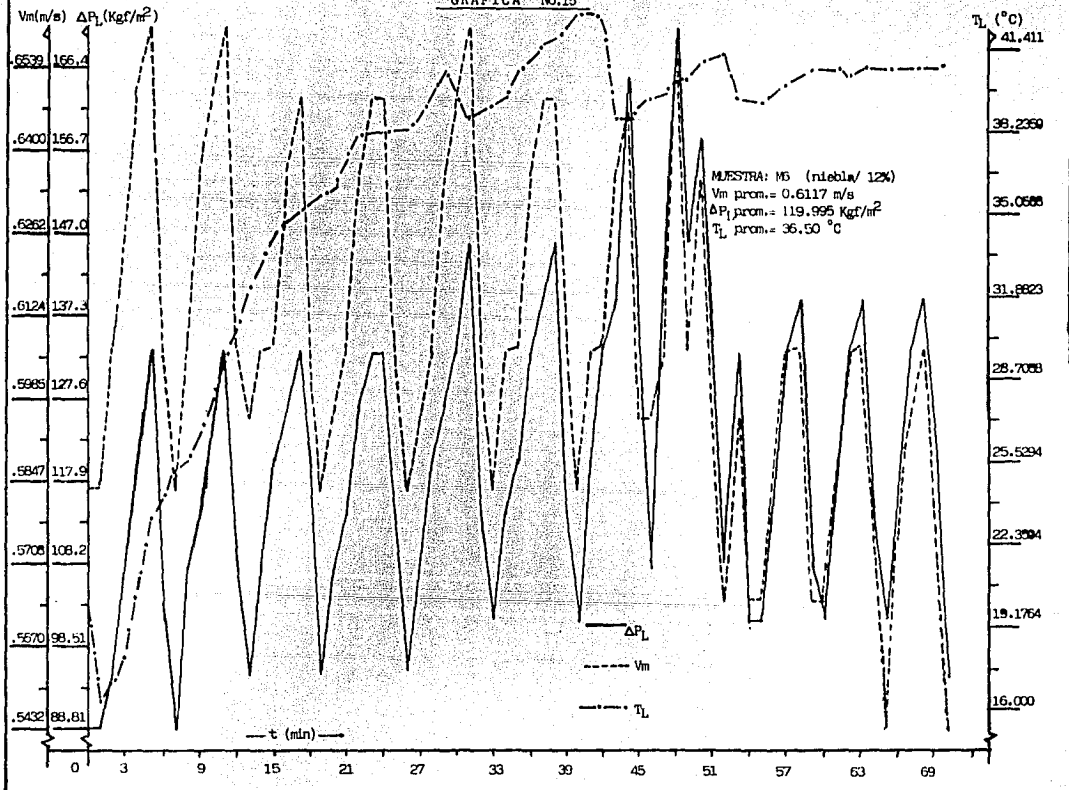




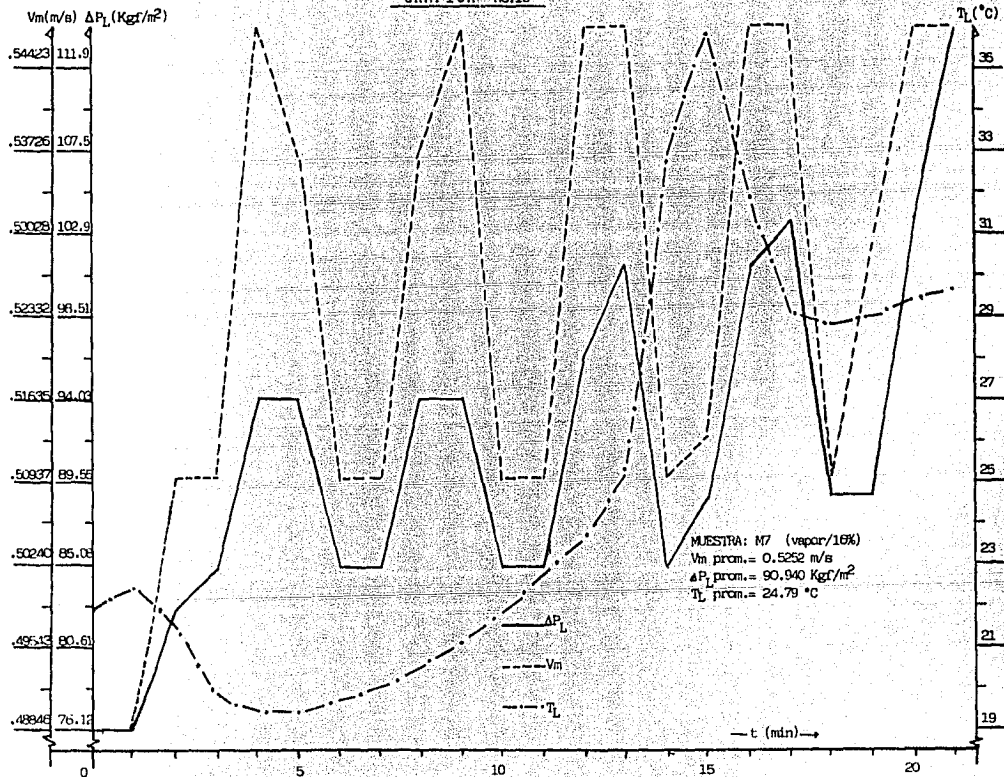
GRAFICA No.14



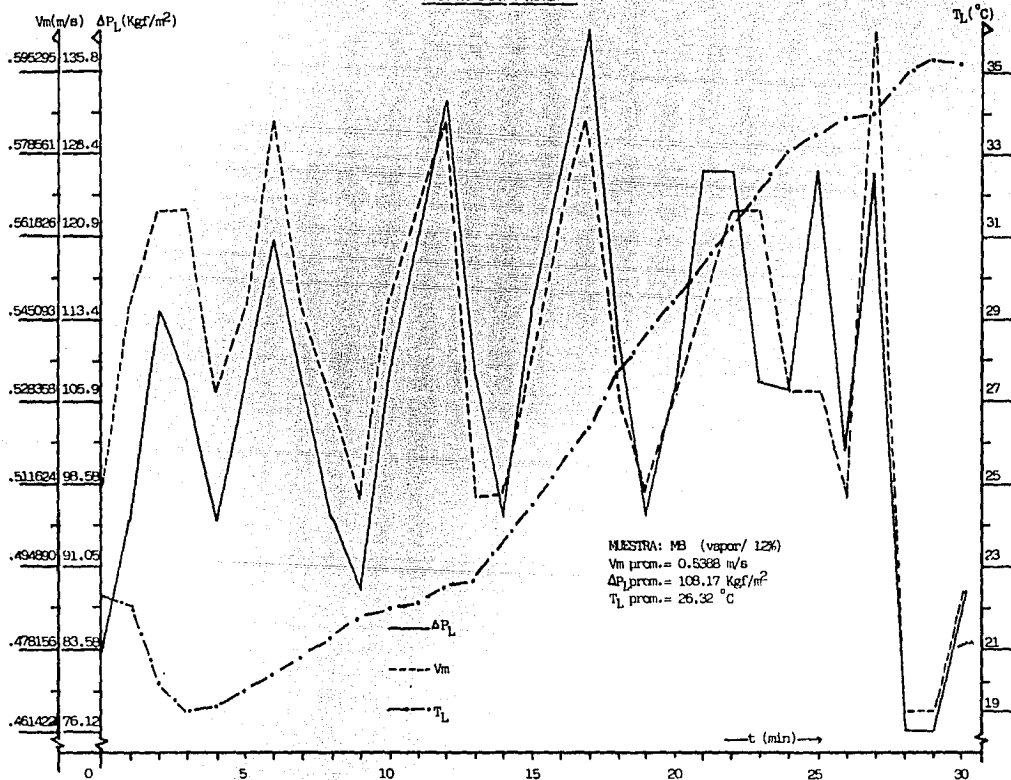
GRAFICA No.15

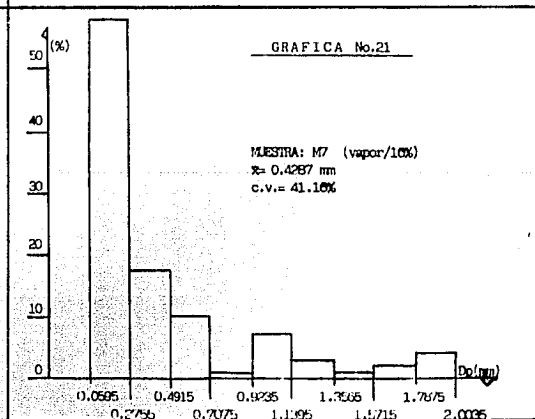
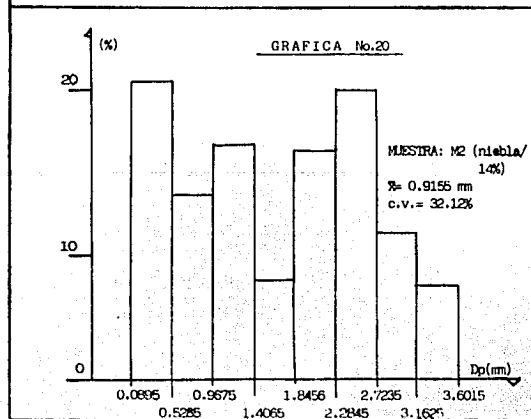
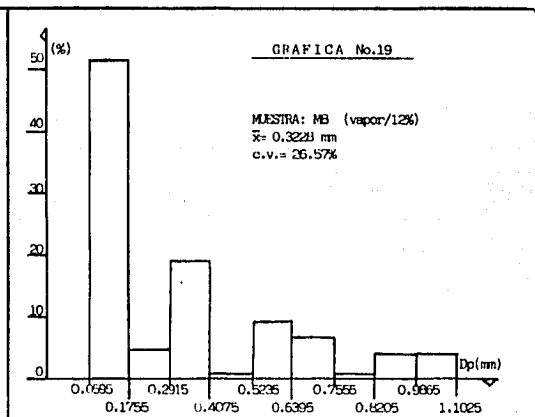
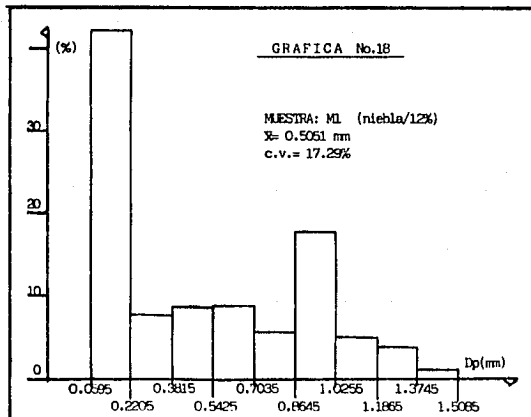


GRAFICA No.16

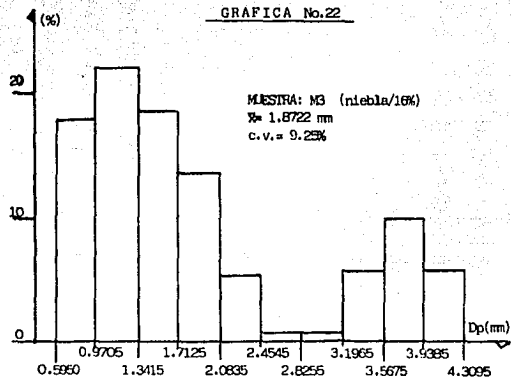


GRAFICA No.17

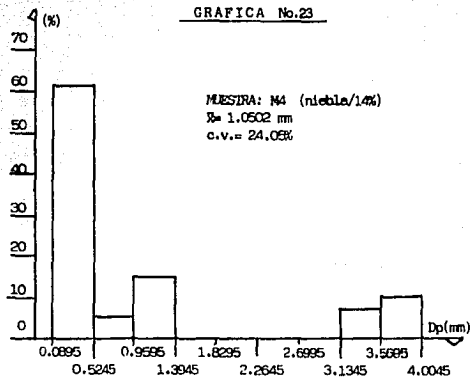




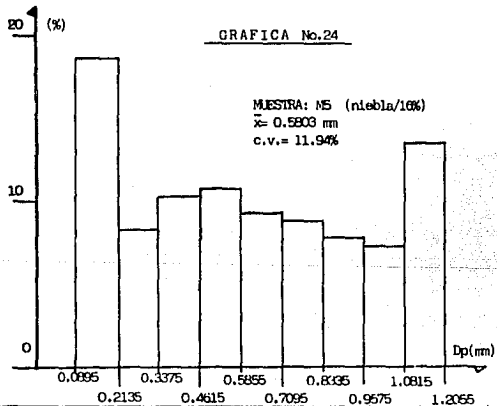
GRAFICA No.22



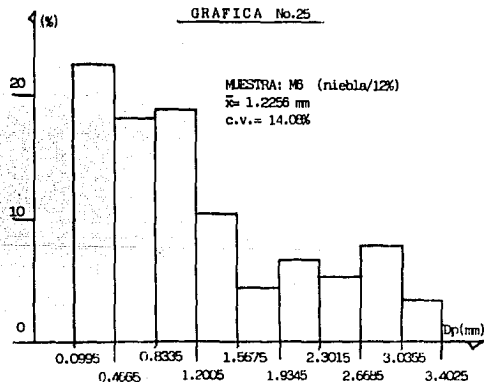
GRAFICA No.23



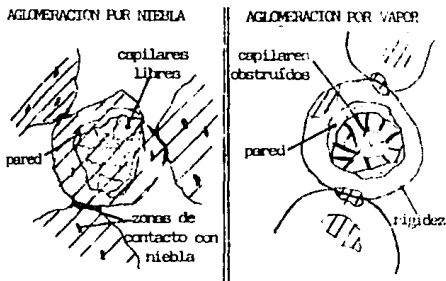
GRAFICA No.24



GRAFICA No.25




-LA UNIÓN ENTRE PARTÍCULAS SEA MÁS EXTENSA Y RESISTENTE QUE EN EL CASO DEL VAPOR EVITANDO QUE EL POLVO SE DISGREGUE DURANTE LA FLUIDIZACIÓN POR CUALQUIERA DE LOS 3 PROCESOS DE DISMINUCIÓN DE TAMAÑO QUE SE TRATARON EN EL CAPITULO 1. POR ELLO ES POSIBLE PENSAR QUE MIENTRAS EL AGUA DE LA NIEBLA SE DISTRIBUYE UNIFORMEMENTE POR TODA LA PARTÍCULA POR DIFUSIÓN AL INTERIOR, EL AGUA DEL VAPOR TIENE QUE CONDENSAR ANTES SOBRE LA SUPERFICIE DONDE DEBIDO A LA ALTA TEMPERATURA A LA QUE SE DA EL CAMBIO DE FASE Y EL TIEMPO DE CONTACTO QUE ELLO REQUIERE, OCURRE UNA SOLUBILIZACIÓN DE SÓLIDOS QUE ADÉMÁS DE AUMENTAR LA RIGIDEZ SUPERFICIAL CUANDO SE SECA LA PARTÍCULA, OBSTRUYE LA PENETRACIÓN DE AGUA AL INTERIOR QUEDANDO UNA PARTE DE LA HUMEDAD ATRAPADA ENTRE LAS CAPAS RÍGIDAS EXTERNAS Y LAS CAPAS MÁS INTERNAS CUYO ACCESO ATRAVÉS DE POROS Y CAPILARES FUE BLOQUEADO; A FIN DE ILUSTRAR LO ANTERIOR SE PRESENTA LA FIGURA NO. 33. EL MECANISMO DE HUMECTACIÓN PROPUESTO EXPLICA TAMBIÉN LA AJA AGLOMERACIÓN CONSEGUIDA CON EL VAPOR Y LA RAPIDEZ CON QUE LAS PARTÍCULAS OBTENIDAS POR ÉSTE MÉTODO PIEDEN AGUA YA QUE EN ELLAS EL AGUA NO TIENE QUE DIFUNDIR LA DISTANCIA QUE RECORRE EL AGUA DE LAS PARTÍCULAS AGLOMERADAS POR NIEBLA Y EXPLICA ASÍ MISMO LOS RESULTADOS DE HUMECTABILIDAD Y SOLUBILIDAD QUE SE PRESENTARÁN POSTERIORMENTE.



### III.2.2 INFLUENCIA DE LA HUMEDAD.

AL ANALIZAR EL EFECTO DE LA HUMEDAD FINAL DEL AGLOMERADO SOBRE LA DISTRIBUCIÓN DE TAMAÑOS SE TIENE QUE, AUNQUE EN GENERAL SE CUMPLE LA TENDENCIA DE QUE A MAYOR PORCENTAJE DE HUMEDAD MENOR DISPERSIÓN EN LOS DATOS, NO EXISTE UN COMPORTAMIENTO QUE EXPLIQUE LA TENDENCIA DE LA MEDIA PARA LA LECHE AGLOMERADA POR NIEBLA DONDE SEGURAMENTE INFLUYEN VARIABLES FUERA DE CONTROL DEL EXPERIMENTO COMO EL MOVIMIENTO DE LA MASA DE POLVO DURANTE LA AGLOMERACIÓN Y EL EFECTO DE DISGREGACIÓN DEL GRÁNULO QUE PROVOQUE LA FLUIDIZACIÓN; TODO INDICA QUE ÉSTOS DOS PARÁMETROS SON DETERMINANTES YA QUE POR EJEMPLO, LAS MUESTRAS (M2) Y (M4) QUE FUERON AGLOMERADAS HASTA LA MISMA HUMEDAD Y POR EL MISMO MÉTODO (NIEBLA) PERO FLUIDIZADAS EN DIFERENTES CONDICIONES DE VELOCIDAD SUPERFICIAL, MUESTRAN GRANDES COEFICIENTES DE VARIACIÓN, CERCANOS VALORES DE MEDIA DE TAMAÑOS Y PROPORCIONES DE FINOS QUE EN TEORÍA Y ATENIÉNDOSE SOLAMENTE AL EFECTO DE LA VELOCIDAD DEL AIRE RESPONDEN A LO ESPERADO PUES LA MUESTRA (M4) FLUIDIZADA A MENOR VELOCIDAD PRESENTA MAYOR PROPORCIÓN DE FINOS CUYO DIÁMETRO DE CLASE ES MUY SIMILAR A LA MEDIA DE (M2). POR OTRA PARTE EL VAPOR RESPONDE A LO ESPERADO EN CUANTO A QUE A MA

 → Localización de la humedad.

-YOR HUMEDAD, MAYOR LA MEDIA DE TAMAÑOS ( $\bar{x}$ ) AUNQUE EN ÉSTE CASO EL COEFICIENTE DE DISPERSIÓN (CV) ES MÁS GRANDE PARA LA MUESTRA (M7) LO QUE PUEDE DEBERSE AL EFECTO COMBINADO DE LA MAYOR PENETRACIÓN DEL VAPOR EN LA MASA DE POLVO DURANTE LA AGLOMERACIÓN Y SU BAJO PODER AGLOMERANTE.

### 111.2.3 HUMECTABILIDAD.

LA GRÁFICA No.26 PRESENTA LOS RESULTADOS DEL ÍNDICE DE HUMECTABILIDAD DE LAS MUESTRAS AGLOMERADAS Y FLUIDIZADAS; COMO SE PUEDE VER, ÚNICAMENTE TRES DE ELLAS LOGRARON HUMECTARSE: (M3), (M4) Y (M6) Y DE ELLAS SÓLO LA ÚLTIMA PRESENTÓ UNA HUMECTABILIDAD SIMILAR A LA DE LA LECHE "NIDO" EMPLEADA COMO PATRÓN DE COMPARACIÓN EN LA 1A. FASE MIENTRAS QUE LAS OTRAS DOS, SI BIEN NO ALCANZARON RESULTADOS TAN BUENOS, SÍ MEJORARON NOTABLEMENTE EN COMPARACIÓN CON LA MATERIA PRIMA. LA MUESTRA (M3) FUE HUMECTADA HASTA 16% DURANTE LA AGLOMERACIÓN MIENTRAS QUE (M4) LO FUE HASTA 14% Y (M6) QUE FUE LA MEJOR, HASTA 12%; EN TODOS LOS CASOS SE EMPLEÓ NIEBLA PARA TAL EFECTO POR LO QUE DE AQUÍ PARTE UNA DE LAS CONCLUSIONES DE LA EXPERIMENTACIÓN EN LA 2A. FASE QUE ES QUE LAS MUESTRAS AGLOMERADAS POR NIEBLA SON MEJORES EN CUANTO A HUMECTABILIDAD QUE AQUELLAS A GLOMERADAS POR VAPOR, Y LA EXPLICACIÓN SE FUNDAMENTA EN EL MECANISMO DE REHUMECTACIÓN PROPUESTO LINEAS ATRÁS Y QUE DETENEMOS LA ESTRUCTURA GRANULAR DEL POLVO, COMO SE DETALLARÁ MÁS ADELANTE.

EN LAS GRÁFICAS 22, 23 Y 25 SE VE QUE UNA CARACTERÍSTICA COMÚN DE LAS TRES MUESTRAS ES LA DE PRESENTAR MEDIAS DE TAMAÑO DE PARTÍCULA MAYORES QUE EL RESTO Y QUE SUPERAN EL LÍMITE TEÓRICO MÍNIMO DE 1 MM; LA MUESTRA (M3) PRESENTA LA MEDIA MÁS ALTA, CERCANA A 2 MM ASÍ COMO EL MENOR COEFICIENTE DE DISPERSIÓN. ASÍ MISMO SE DESTACA QUE LA MUESTRA CON MEJOR HUMECTABILIDAD - (M6) - Y LA QUE TUVO EL MAYOR ÍNDICE DE LAS TRES - (M4) - NO SIGUEN LA PAUTA MARCADA POR (M3) PUES DE ELLAS LA QUE TIENE MEDIA MAYOR Y MENOR C.V. ES (M6), HUMECTADA HASTA 12%. LA CAUSA DE ESTO ESTÁ EN LA ALTA PROPORCIÓN DE FINOS DE (M4) QUE TIENE UNA MEZCLA DE TAMAÑOS MENOS FAVORABLE QUE (M6). COMO YA SE DIJO, LAS DISTRIBUCIONES DE TAMAÑOS SE VEN INFLUENCIADAS NO SÓLO POR EL TIPO DE AGLOMERACIÓN Y LA HUMEDAD ALCANZADA CON ELLA SINO TAMBIÉN POR LA MANERA DE MANTENER EN CONTACTO EL AGUA CON EL POLVO Y LAS CARACTERÍSTICAS DE LA FLUIDIZACIÓN.

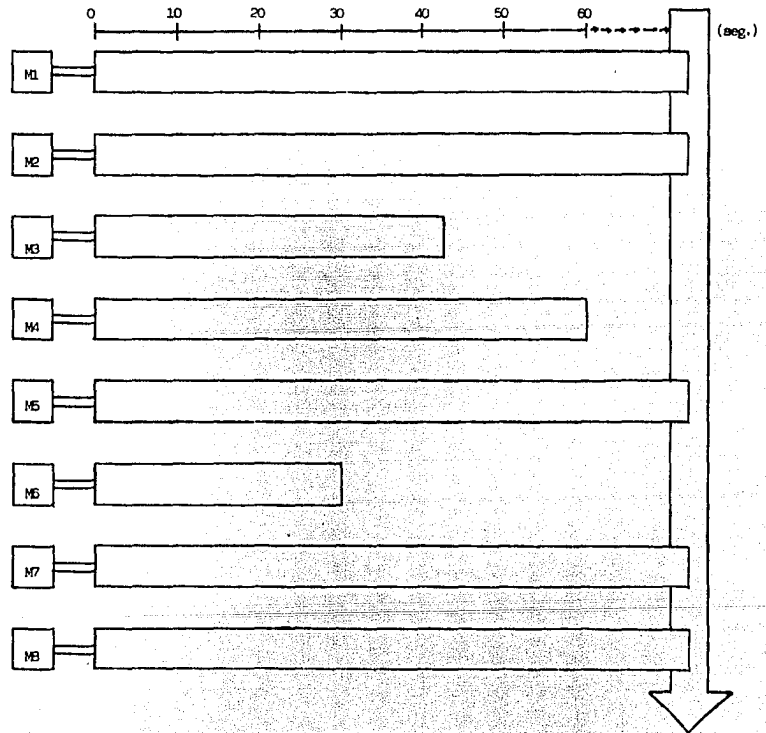
COMO EXISTEN OTRAS TRES MUESTRAS - (M1), (M2) Y (M5) - QUE TAMBIÉN FUERON AGLOMERADAS POR NIEBLA A 12, 14 Y 16% Y NO LOGRARON HUMECTARSE, ES NECESARIO BUSCAR LAS CAUSAS DE ELLO. POR LO QUE RESPECTA A LA DISTRIBUCIÓN DE TAMAÑOS DE ESAS MUESTRAS SE TIENE QUE LAS 3 PRESENTAN BAJOS VALORES DE MEDIA DE TAMAÑOS (INFERIORES A 1 MM); LA MUESTRA (M2), QUE SE ACERCA A ESE VALOR, PRESENTA EN CAMBIO EL MÁS ALTO C.V. PUES POSEE UNA BUENA CANTIDAD DE GRÁNULOS CON TAMAÑO SUPERIOR A 3 MM. SIN EMBARGO, LO ANTERIOR NO ES SUFICIENTE



GRAFICA No.26

INDICE DE  
HUMECTABILIDAD

M  
U  
E  
S  
T  
R  
A



La muestra no se humecta.

-PARA EXPLICAR POR QUÉ DICHA MUESTRA NO SE HUMECTÓ YA QUE (M4) TIENE TAMBIÉN UNA PROPORCIÓN ALTA DE PARTÍCULAS GRANDES Y UN ELVADO COEFICIENTE DE DISPERSIÓN, POR LO CUAL LAS CONDICIONES DE SE CADO POR FLUIDIZACIÓN DEBIERON SER DETERMINANTES.

#### III.2.4 DENSIDAD A GRANEL.

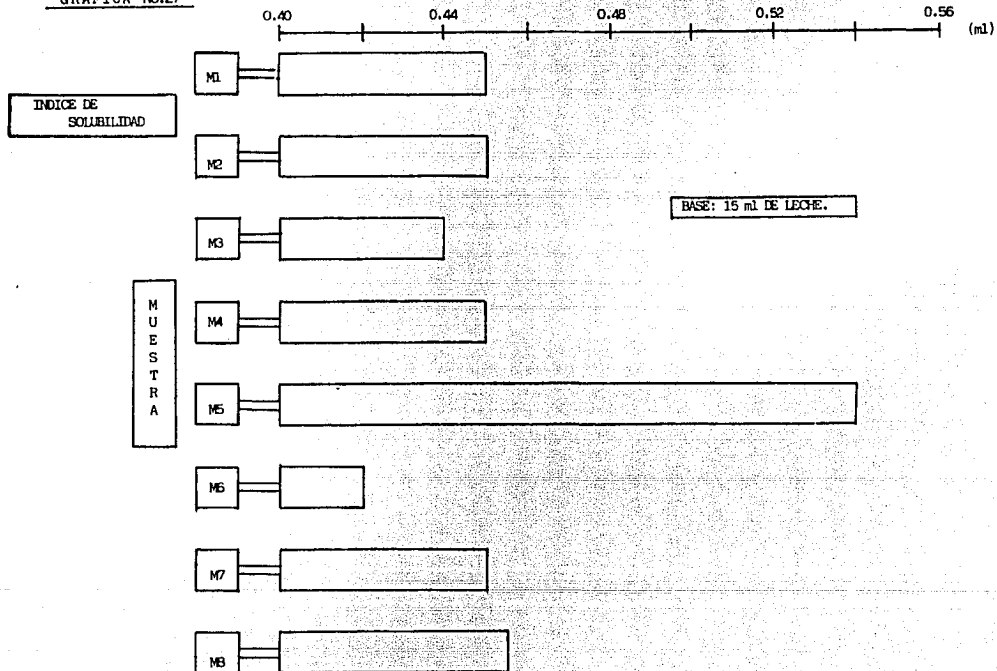
CON RESPECTO A LA DENSIDAD A GRANEL, SE TIENE QUE CASI TODAS LAS MUESTRAS PRESENTARON, CON EXCEPCIÓN DE (M1) Y (M8), VALORES INFERIORES A 401 KG/M<sup>3</sup> QUE CARACTERIZA A LA MATERIA PRIMA TAL COMO SE VE EN LA GRÁFICA NO.28; LO ANTERIOR QUIERE DECIR QUE AÚN CUANDO NO SE PUDO ALCANZAR EL VALOR CLAVE DE 350 KG/M<sup>3</sup> POR LAS DEFICIENCIAS ESTRUCTURALES DE LA MATERIA PRIMA, EL PROCESO DE AGLOMERACIÓN, CUMPLIÓ SU OBJETIVO DE AUMENTAR LA FRACCIÓN DE ESPACIOS LIBRES EN EL POLVO, ESPECIALMENTE CON LA AGLOMERACIÓN POR NIEBLA. LOS RESULTADOS DE (M1) Y (M8) PUEDEN EXPLICARSE: EN EL ÚLTIMO CASO, EL VALOR OBTENIDO ES PRÁCTICAMENTE IGUAL A LA MATERIA PRIMA PUES SOLO EXISTE UNA DIFERENCIA DE 0.5%, O SEA QUE LA AGLOMERACIÓN FUE MUY DEFICIENTE; EL CASO DE (M1) TIENE ORIGEN EN UNA COMBINACIÓN DEL EFECTO DE LA FLUIDIZACIÓN Y LA ALTA PROPORCIÓN DE FINOS.

#### III.2.5 SOLUBILIDAD.

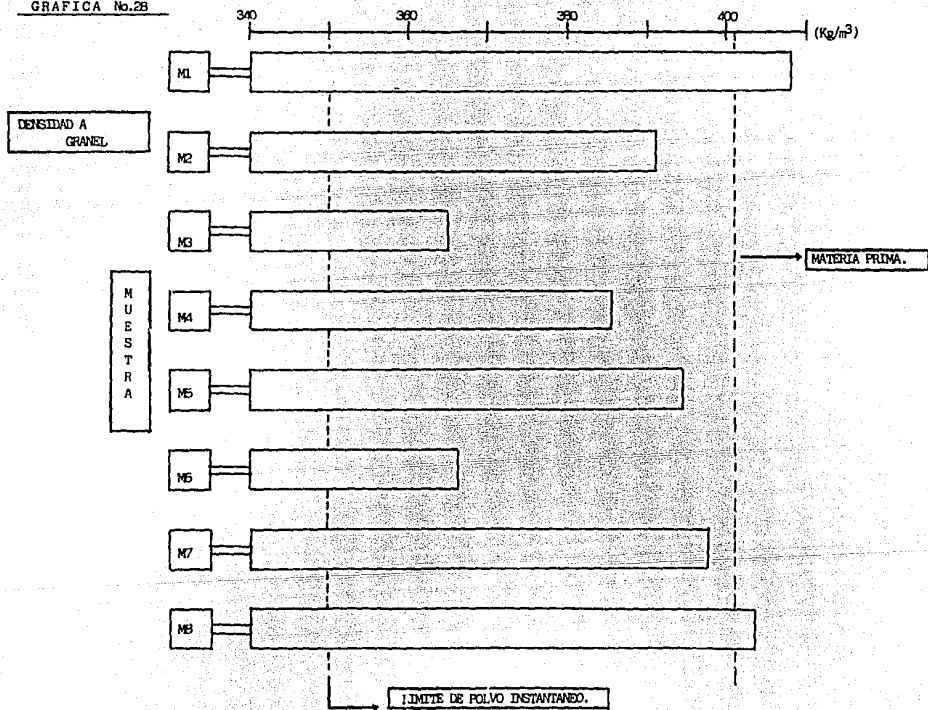
POR LO QUE TOCA AL ÍNDICE DE SOLUBILIDAD DE LA GRÁFICA NO.27 SE PUEDE APRECIAR QUE ESTE AUMENTÓ, FINALIZANDO EN TODOS LOS CASOS POR ENCIMA DEL VALOR DE LA MATERIA PRIMA (0.40HL/15ML); LO ANTERIOR ES SIGNO DE QUE LOS COMPUESTOS RESPONSABLES DE LA CAPTACIÓN DE AGUA SUFRIERON UNA CIERTA DISMINUCIÓN DE SUS CUALIDADES POR EFECTO DEL PROCESO. ESTO RESALTA EN LA MUESTRA (M5) DONDE LAS YA DAÑADAS PROTEÍNAS SE DETERIORARON AÚN MÁS CON LO QUE LA INSOLUBILIZACIÓN DE LAS MISMAS SE VIÓ INCREMENTADA. AQUÍ LA CAUSA DEL PROBLEMA SE PUEDE ENCONTRAR EN EL EFECTO DE SENSIBILIZACIÓN DE LA FRACCIÓN PROTÉICA AL CALOR QUE RESULTA DE REHUMECTAR EL POLVO Y EL NÚMERO DE VECES QUE EL ALIMENTO HA SIDO EXPUESTO A PROCESOS TÉRMICOS. LA MUESTRA (M5) FUE FLUIDIZADA A LA MAYOR TEMPERATURA (46.150C EN PROMEDIO) Y ESTO SEGURAMENTE DETERMINÓ EL COMPORTAMIENTO OBSERVADO; YA MALYUKOV Y BURYKHIN (29) EN UN EXPERIMENTO ANÁLOGO CON LECHE SECADA Y REHUMECTADA EN SUCESIVAS OCASIONES OBTUVIERON LA TEMPERATURA DE 400C COMO LÍMITE PARA QUE EL PRODUCTO NO SUFRIESE DAÑO TÉRMICO DURANTE LA FLUIDIZACIÓN.

EN EL CASO DE ESTE ESTUDIO ES CLARO QUE LAS CARACTERÍSTICAS DEFICIENTES DE LA MATERIA PRIMA INFLUYERON BASTANTE EN LOS RESULTADOS PERO SE CONFIRMA LA EXISTENCIA DE UNA RELACIÓN ENTRE LA TEMPERATURA DEL LECHO Y EL ÍNDICE DE SOLUBILIDAD YA QUE LAS MUESTRAS FLUIDIZADAS A TEMPERATURAS MENORES A 380C - (M6) Y (M3) - SON MÁS SOLUBLES QUE LAS FLUIDIZADAS POR ENCIMA DE ESE VALOR - (M1), (M2), (M4) Y (M5); LAS MUESTRAS (M7) Y (M8) QUE FUERON FLUIDIZADAS A BAJA TEMPERATURA TIENEN UNA SOLUBILIDAD COMPARABLE A LA DE (M1) O (M4) PERO EN ÉSTE CASO EL RESULTADO SE DEBE AL EFECTO DE LA RIGI-

GRAFICA No.27



GRAFICA No.2B



-DEZ SUPERFICIAL QUE IMPARTE LA AGLOMERACIÓN POR VAPOR.

### III.2.6 LA FLUIDIZACIÓN.

#### III.2.6.1 LA RELACIÓN ENTRE VELOCIDAD Y CAÍDA DE PRESIÓN.

A CONTINUACIÓN SE ANALIZARÁ EL PROCESO DE FLUIDIZACIÓN, REPRESENTADO EN LAS GRÁFICAS 10 A LA 17 CON UNA LÍNEA PUNTEADA PARA LA VELOCIDAD SUPERFICIAL ( $V_M$ ) DEL AIRE Y UNA CONTINUA PARA LA CAÍDA DE PRESIÓN DEL LECHO ( $\Delta PL$ ). EN GENERAL, SE APRECIA QUE LA VELOCIDAD MUESTRA UN PATRÓN OSCILANTE CUYAS FLUCTUACIONES SON DESDE LAS BAJAS PRESIONES REQUERIDAS PARA FLUIDIZAR UNA COLUMNA DE POLVO DE LAS DIMENSIONES EMPLEADAS. A PESAR DE LO ANTERIOR EXISTE LA VENTAJA DE QUE A LA ESCALA MANEJADA TODA VARIACIÓN, POR PEQUEÑA QUE SEA QUEDA REGISTRADA EN LAS GRÁFICAS CON LO QUE ES POSIBLE ESTUDIAR EN TODO MOMENTO EL PATRÓN DE FLUIDIZACIÓN DEL LECHO; PARA EL COMPORTAMIENTO PROMEDIO, SE INDICAN EN CADA GRÁFICA LOS VALORES DE LA MEDIA ESTADÍSTICA DE VELOCIDAD ( $V_M$  PROM) Y CAÍDA DE PRESIÓN ( $\Delta PL$  PROM), MIENTRAS QUE PARA OBTENER LAS TENDENCIAS MATEMÁTICAS SE EMPLEAN LOS DIAGRAMAS DE FASES QUE SE ABORDARÁN POSTERIORMENTE.

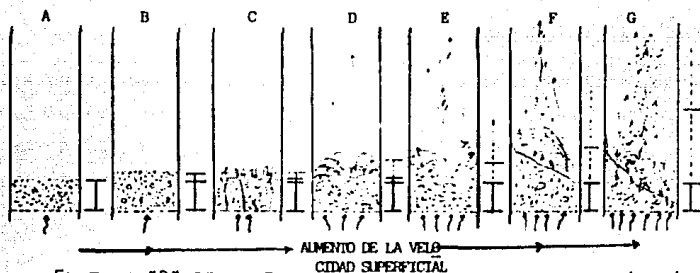
ES POSIBLE ESTABLECER CONSIDERACIONES DE LAS GRÁFICAS DE PROCESO QUE AYUDAN A COMPRENDERLO; UNA DE DICHAS CONSIDERACIONES ES QUE LA SEPARACIÓN EXISTENTE EN CADA MOMENTO ENTRE LAS CURVAS DE VELOCIDAD Y CAÍDA DE PRESIÓN INDICA QUE TAN ESTABLE ES EN ESE PUNTO LA FLUIDIZACIÓN, DE TAL MANERA QUE ENTRE MAYOR ES LA SEPARACIÓN ENTRE ELLAS MENOS UNIFORME ES EL PROCESO O DICHO DE OTRA FORMA, EL COMPORTAMIENTO DEL LECHO RESPONDE MENOS A LAS VARIACIONES DE LA VELOCIDAD DEL AIRE. ASÍ CUANDO UNA LÍNEA DE CAÍDA DE PRESIÓN ESTÁ POR DEBAJO DE LA LÍNEA DE VELOCIDAD, EL LECHO TIENDE A PERMANECER ESTÁTICO, DEPENDIENDO DE QUÉ TAN LEJOS ESTÉ UNA LÍNEA DE OTRA EL QUE EL LECHO SE HALLA MÁS O MENOS ESTÁTICO; EN SITUACIONES DE ESTE TIPO, QUE SE PRESENTAN POR EJEMPLO EN LA GRÁFICA 10 DURANTE LOS PRIMEROS 33 MIN DE PROCESO, EL POLVO TIENDE A PRESENTAR UN COMPORTAMIENTO SIMILAR AL DESCRITO POR GELDART (22) PARA LOS POLVOS DE TIPO "C" DURANTE LA FASE DE LECHO SUSPENDIDO, EN EL QUE EL LECHO SE EXPANDE Y ADQUIERE UNA ESTRUCTURA INTERNA TAL QUE DEJA PASAR EL AIRE ATRAVÉS DE CANALES O FISURAS.

#### III.2.6.2 PATRONES HIDRODINÁMICOS.

EL CASO DE LA MUESTRA (M1) DE LA GRÁFICA NO 10 SIRVE TAMBIÉN PARA ILUSTRAR CÓMO MIENTRAS LA LÍNEA DE CAÍDA DE PRESIÓN ESTÁ ABAJO DE LA LÍNEA DE VELOCIDAD, ESA VARIABLE NO RESPONDE CON FLUCTUACIONES DEL MISMO TIPO CUANDO HAY CAMBIOS EN LA VELOCIDAD, AL TIEMPO QUE CUANDO LA LÍNEA DE  $\Delta PL$  SE HALLA POR ENCIMA DE LA LÍNEA DE VELOCIDAD LAS VARIACIONES DE ÉSTA TIENEN RESPUESTA INMEDIATA EN EL PATRÓN HIDRODINÁMICO DEL LECHO. ÉSTO SUCEDE TAMBIÉN CUANDO AMBAS LÍNEAS SE ENCUENTRAN CERCANAS ENTRE SÍ, SÓLO QUE A MEDIDA QUE

LA LÍNEA CONTÍNUA SE ALEJA POR ENCIMA DE LA VELOCIDAD EL PATRÓN HIDRODINÁMICO RESULTA SER MÁS TURBULENTO Y SE CARACTERIZA POR UN MOVIMIENTO DE CORRIENTES DE POLVO Y AIRE QUE ALCANZABAN UNA ALTURA QUE DEPENDÍA DE LA VELOCIDAD SUPERFICIAL Y QUE FLUÍAN EN UN SOLO SENTIDO. LA FIGURA NO. 34 ILUSTRARÁ LOS PATRONES HIDRODINÁMICOS QUE SE PRESENTARON EN FUNCIÓN DE LA VELOCIDAD SUPERFICIAL.

FIGURA NO. 34



EL TIPO "D" DE LA FIGURA REPRESENTA LA FLUIDIZACIÓN MÁS ESTABLE, QUE SE CONSIGUE CUANDO LAS LÍNEAS DE VELOCIDAD Y CAÍDA DE PRESIÓN COINCIDEN EN TANTO QUE EL PATRÓN HIDRODINÁMICO TIENDE HACIA "A" CUANDO  $\Delta P_L$  ESTÁ ABAJO DE  $V_M$  Y HACIA "G" CUANDO SE HALLA POR ARRIBA. EL PASO DE UN PATRÓN A OTRO NO ES FUNCIÓN ÚNICAMENTE DE LA VELOCIDAD DEL AIRE O LA DISTRIBUCIÓN DE TAMAÑOS SINO QUE PARECE DEPENDER TAMBIÉN -AL MENOS DURANTE EL TIEMPO QUE SE ELIMINA LA HUMEDAD MÁS SUPERFICIAL- DEL PESO DE LA COLUMNA, QUE A SU VEZ ES FUNCIÓN DE LA CANTIDAD DE AGUA PRESENTE EN EL POLVO POR LO QUE LAS MUESTRAS REHUMECTADAS HASTA UN PORCENTAJE MAYOR EMPLEAN MENOS TIEMPO EN ALCANZAR ESTABILIDAD EN SU PATRÓN DE FLUIDIZACIÓN Y EN GENERAL OCURRE EN ELLOS QUE LA LÍNEA DE CAÍDA DE PRESIÓN SE HALLA POR ABAJO DE LA DE VELOCIDAD, LO CUAL SE EXPLICA POR EL HECHO DE QUE LAS PARTÍCULAS MÁS PESADAS TIENDEN A FLUIDIZAR A MENOR ALTURA Y CON MENOR TURBULENDA MIENTRAS QUE LAS MUESTRAS REHUMECTADAS HASTA 12% ALCANZAN MÁS RÁPIDAMENTE PATRONES TURBULENTO.

LA INFLUENCIA DE LA VELOCIDAD DEL AIRE ES DETERMINANTE EN EL PATRÓN HIDRODINÁMICO DE FLUIDIZACIÓN SIENDO ÉSTE MÁS ESTABLE A BAJAS VELOCIDADES QUE A ALTAS COMO LO MUESTRA LA COMPARACIÓN DE LAS GRÁFICAS 11 Y 13 O LAS GRÁFICAS 15 Y 17 ENTRE SI. POR EL BLOQUEO DE CONSTANTES QUE SE TUVO NO FUE POSIBLE EVALUAR EL EFECTO DE LA DISTRIBUCIÓN DE TAMAÑOS EN EL PATRÓN DE FLUIDIZACIÓN.

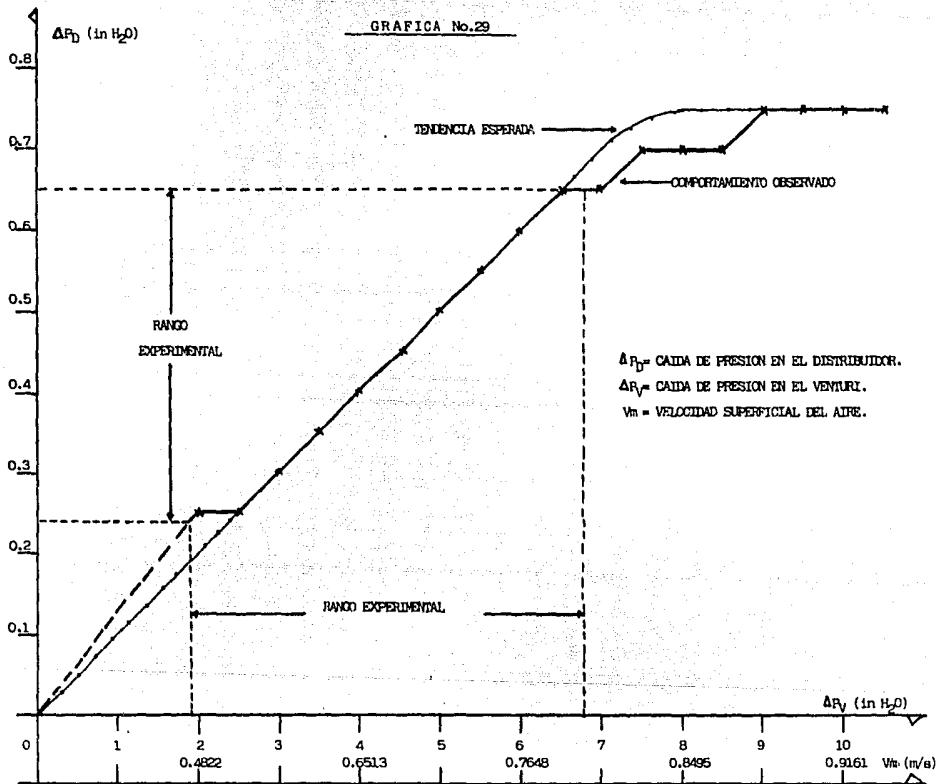
EN LO REFERENTE A LA VELOCIDAD MÍNIMA DE FLUIDIZACIÓN, ÉSTA VARÍA EN TEORÍA PARA LAS CONDICIONES PARTICULARES DEL AIRE Y EL SÓLIDO ESTUDIADAS EN UN RANGO DE 0'1 A 1'2 M/SEG. SEGÚN LA ECUA

-CIÓN DE BAEYENS-GELDART (EC.8). EN LA PRÁCTICA NO FUE POSIBLE ESTABLECER UN VALOR CARACTERÍSTICO DE CADA MUESTRA DEBIDO A FACTORES DIVERSOS COMO LA IRREGULARIDAD EN LA FORMA DE LA PARTÍCULA, LA DISPERSIÓN EN EL TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS, EL CAMBIO CONSTANTE EN LA DENSIDAD DE LA COLUMNA POR LA PÉRDIDA DE PESO DEBIDA AL SECADO Y SOBRETUDO, LAS TENDENCIAS COHESIVAS DEL POLVO HÚMEDO Y LAS PARTÍCULAS FINAS QUE HACEN QUE LA FLUIDIZACIÓN SE DE EN REALIDAD EN EL MOMENTO EN QUE EL MOVIMIENTO DE LAS PARTÍCULAS ES CAPAZ DE ROMPER LA ESTRUCTURA DE LECHO FORMADA EN LA ETAPA DE LECHO SUSPENDIDO; PARA LOGRAR ROMPER ESA ESTRUCTURA E INICIAR LA FLUIDIZACIÓN SE OBSERVÓ QUE ERA NECESARIA LA GENERACIÓN DE UNA PRESIÓN INTERNA EN EL LECHO QUE DIERA UN "LEVANTÓN" O EMPUJE HACIA ARRIBA A LA MASA DE SÓLIDOS Y QUE ESTO A SU VEZ SE DA EN EL MOMENTO EN QUE LA RAPIDEZ CON QUE LAS PARTÍCULAS DE LA SUPERFICIE DEL LECHO TAPAN LOS CONDUCTOS DE ESCAPE DEL GAS ES MAYOR QUE LA VELOCIDAD CON QUE EL AIRE LOS ABRE NUEVAMENTE CUANDO SE INICIA LA FLUIDIZACIÓN. UNO DE LOS EFECTOS INMEDIATOS ES EL AUMENTO DEL VALOR DE LA CAÍDA DE PRESIÓN DEL LECHO EN FORMA SÚBITA.

LA GRÁFICA NO.29 PRESENTA LA RELACIÓN EXISTENTE ENTRE LA CAÍDA DE PRESIÓN QUE CAUSA EL DISTRIBUIDOR DE FLUJO Y LA CAÍDA DE PRESIÓN QUE REGISTRA EL VENTURI O SU EQUIVALENTE EN VELOCIDAD DEL AIRE; COMO SE VE, EL DISTRIBUIDOR EMPLEADO OCASIONA PÉRDIDA DE CARGA YA QUE MIENTRAS EN LA INDUSTRIA SE RECOMIENDA UN MÍNIMO DE 1 KPA (4.02 INH<sub>2</sub>O), EXPERIMENTALMENTE SE MANEJÓ UN MÁXIMO DE 0.65 INH<sub>2</sub>O; SIN EMBARGO, HAY QUE TOMAR EN CUENTA QUE EN ESTE CASO NO EXISTE EL EFECTO MECÁNICO DE LA VIBRACIÓN DEL DISTRIBUIDOR CON QUE SE CUENTA PARA MOVER AL PRODUCTO EN LA INDUSTRIA.

LOS DIAGRAMAS DE FASES DE LA FLUIDIZACIÓN (GRÁFICAS NO.30 A 37) MUESTRAN TENDENCIAS IMPORTANTES PARA COMPRENDER LOS PATRONES HIDRODINÁMICOS DE LA LECHO EN ESTE PROCESO. EN ELLOS SE TIENEN RECTAS QUE REPRESENTAN UN PATRÓN DE FLUIDIZACIÓN CADA UNA, PATRÓN QUE ES DEFINIDO MEDIANTE LA CORRELACIÓN DE PUNTOS POR LO QUE PARA CADA UNO ES POSIBLE OBTENER UNA ECUACIÓN QUE LO DESCRIBA MATEMÁTICAMENTE. LAS TENDENCIAS GENERALES SON QUE ENTRE MÁS ARRIBA SE HACE UNA RECTA EN LA GRÁFICA, EL PATRÓN SE HACE MÁS TURBULENTO TENIENDO HACIA EL COMPORTAMIENTO DE TRANSPORTE EN FASE DILUIDA A LA VEZ QUE ENTRE MÁS SE ACERQUE A LA PARTE INFERIOR DE LA GRÁFICA SE TIENE A UN PATRÓN DE LECHO FIJO. POR LOS VALORES MANEJADOS Y LAS PENDIENTES DE LAS RECTAS SE DESPRENDE QUE EN TODOS LOS CASOS SE TRABAJÓ EN UN RÉGIMEN DE LECHO DE DESLIZAMIENTO. ADEMÁS SE TIENE QUE A MEDIDA QUE UN PUNTO SE ALEJA DE LA RECTA CARACTERÍSTICA DEL PATRÓN DE FLUIDIZACIÓN AL QUE FUE ASIGNADO, ESTÁ REPRESENTANDO EN REALIDAD UNA TENDENCIA DE COMPORTAMIENTO INTERMEDIO ENTRE DOS PATRONES DE FLUJO; ASÍ, SE TIENE QUE EN LA PRÁCTICA PUEDEN EXISTIR "N" PATRONES DE FLUIDIZACIÓN Y LA POSIBILIDAD DE DETECTARLOS DEPENDERÁ DE LA EXACTITUD DE LOS INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN. EN LAS GRÁFICAS 30 A LA 33 ES POSIBLE DISTINGUIR PATRONES DE FLUIDIZA

GRAFICA No.29





GRÁFICA No.30

$\log(\Delta P_1/L)$

MUESTRA: M1 (niebla/12%)

— Comportamiento de los 0 a los 33 min.:  $\log(\Delta P_1/L) = -0.22171 \log(V_m) + 2.0961$

- - - Comportamiento de los 34 a los 62 min.:  $\log(\Delta P_1/L) = -0.5658 \log(V_m) + 2.6754$

$\log(V_m)$

-1.8750 -1.86486 -1.85372 -1.84258 -1.83144 -1.8203 -1.80916 -1.79802 -1.78688 -1.77574 -1.7646

3.774992

3.658179

3.541366

3.424553

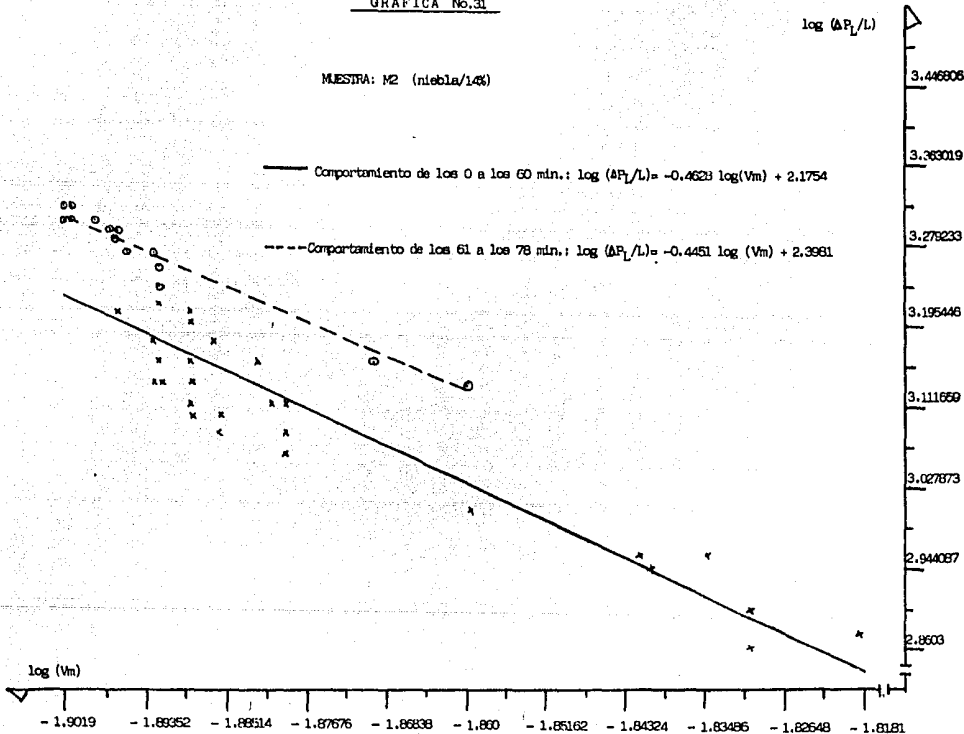
3.307739

3.190926

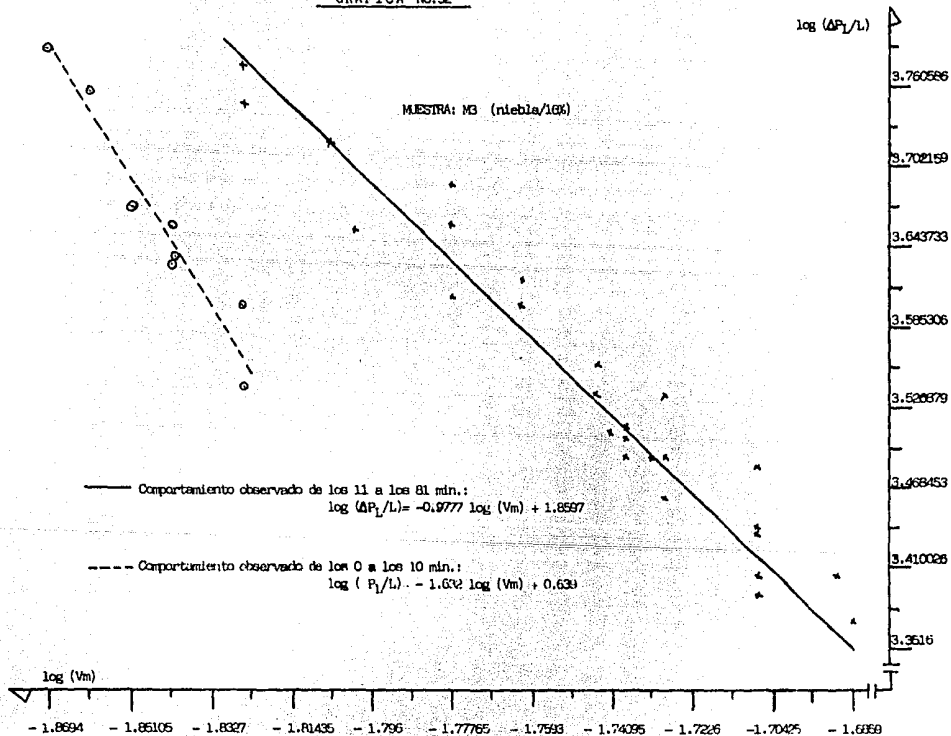
3.074113

2.95730

MUESTRA: M2 (niebla/14%)

— Comportamiento de los 0 a los 60 min.:  $\log (\Delta P_L/L) = -0.4623 \log (V_m) + 2.1754$ - - - Comportamiento de los 61 a los 78 min.:  $\log (\Delta P_L/L) = -0.4451 \log (V_m) + 2.3981$ 

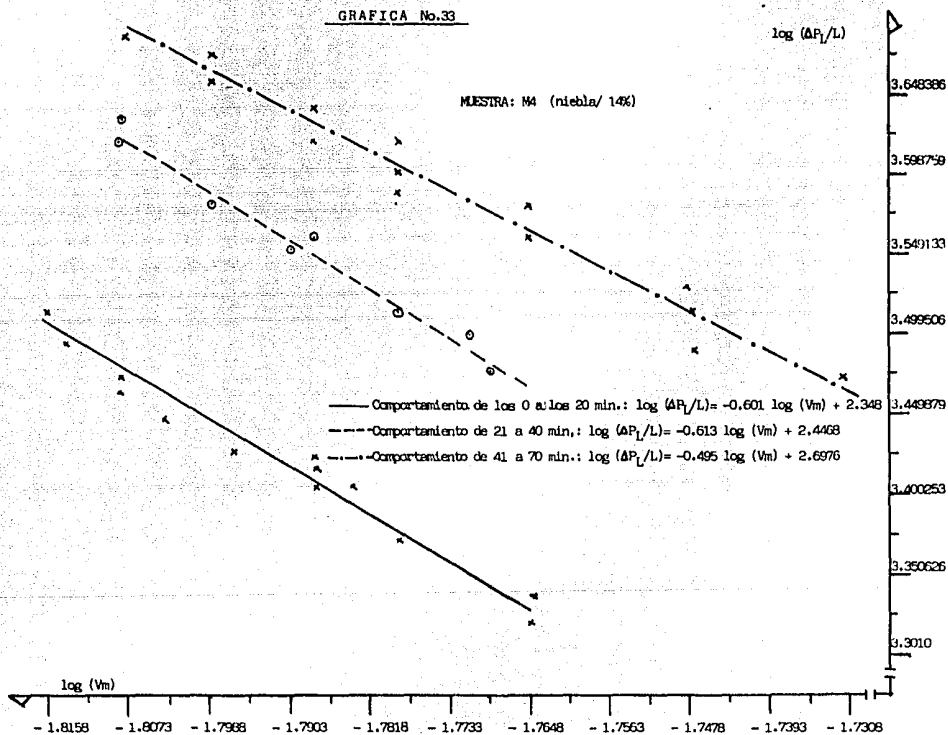
GRAFICA No.32



GRAFICA No.33

$\log (\Delta P_L/L)$

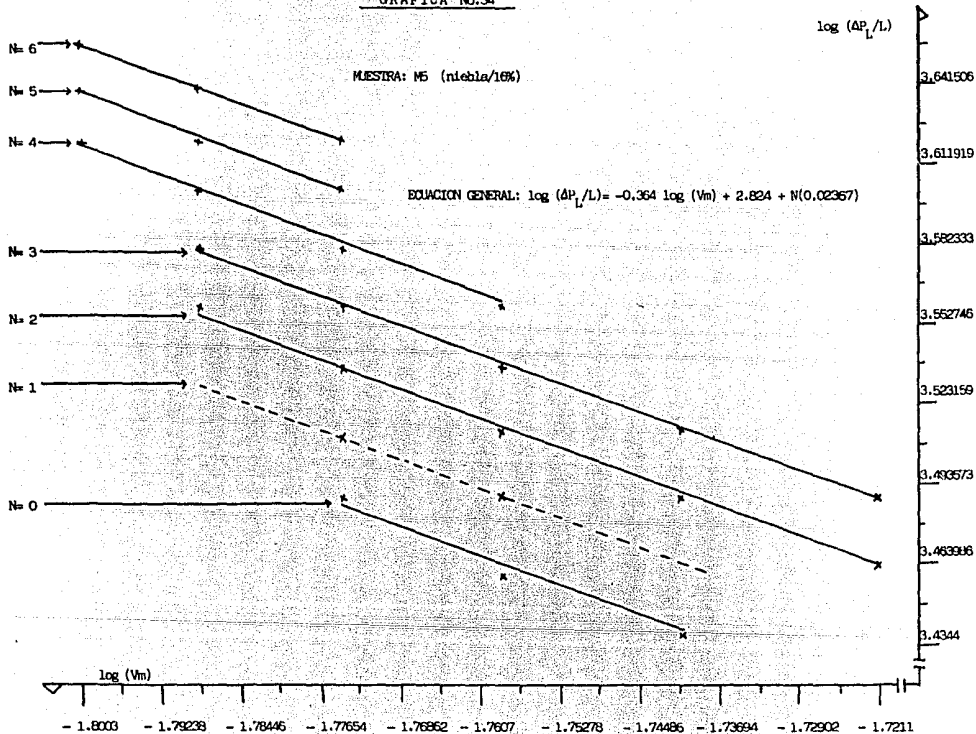
MUESTRA: M4 (niebla/ 14%)



GRAFICA No.34

MUESTRA: M5 (niebla/16%)

EQUACION GENERAL:  $\log (\Delta P_L/L) = -0.364 \log (V_m) + 2.824 + N(0.02367)$



GRAFICA No.35

MUESTRA: M6 (niebla/12%)

$\log (\Delta P_1/L)$

T= 2

T= 1

T= 0

S

R

P

M

N= 1

N= 0

$$\begin{aligned} T: \log (\Delta P_1/L) &= -0,4522 \log (V_m) + 2,0082 + T(0,01997) \\ S: \log (\Delta P_1/L) &= -0,4950 \log (V_m) + 2,6784 \\ R: \log (\Delta P_1/L) &= -0,5169 \log (V_m) + 2,6168 \\ P: \log (\Delta P_1/L) &= -0,5467 \log (V_m) + 2,5461 \\ M: \log (\Delta P_1/L) &= -0,6009 \log (V_m) + 2,4269 \\ N: \log (\Delta P_1/L) &= -0,6123 \log (V_m) + 2,3496 + N(0,02853) \end{aligned}$$

3,67068

3,63264

3,59460

3,55656

3,51852

3,48048

3,44244

3,4044

$\log (V_m)$

- 1,82

- 1,8115

- 1,803

- 1,7945

- 1,786

- 1,7775

- 1,769

- 1,7605

- 1,752

- 1,7435

- 1,735

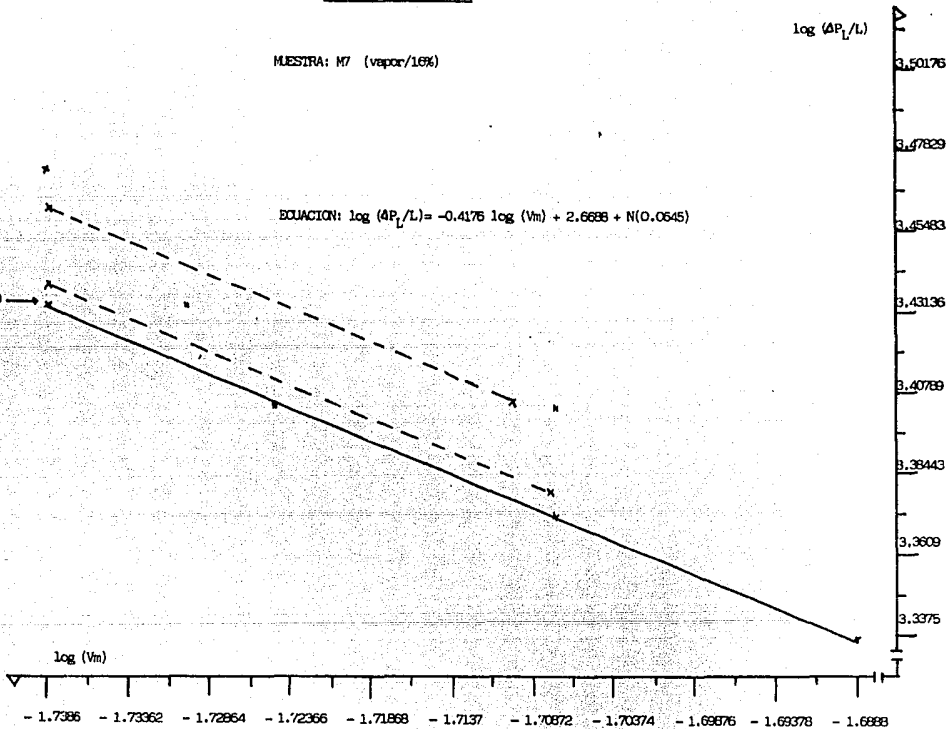
GRAFICA No.36

MUESTRA: M7 (vapor/16%)

$\log (\Delta P_L/L)$

EQUACION:  $\log (\Delta P_L/L) = -0.4176 \log (V_m) + 2.6688 + N(0.0645)$

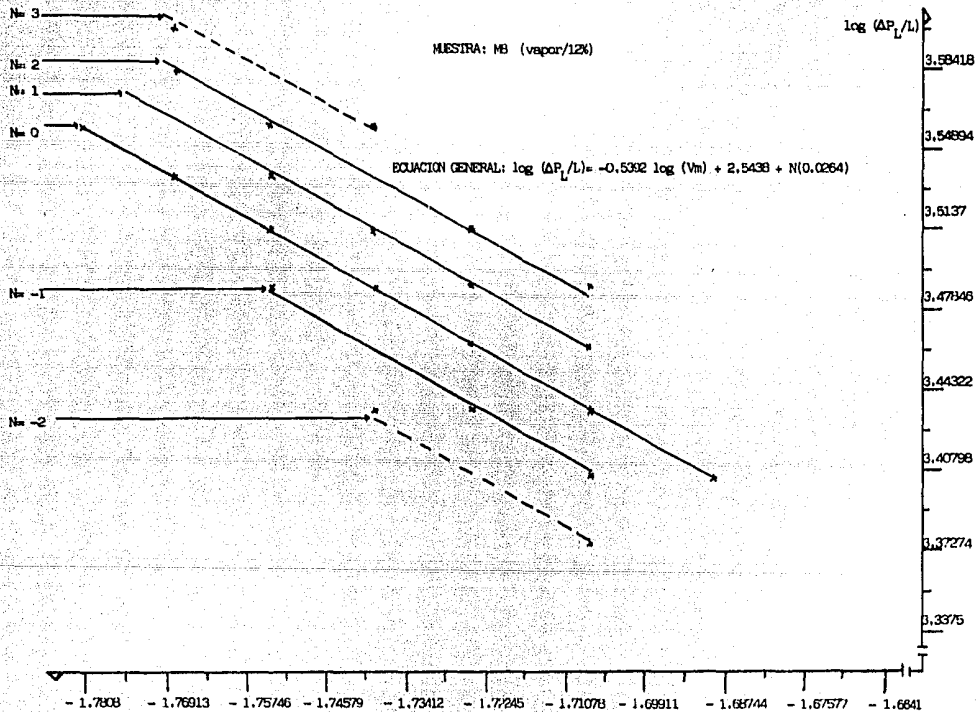
$N=0$



GRAFICA No.37

MUESTRA: MB (vapor/12%)

ECUACION GENERAL:  $\log (\Delta P_L/L) = -0,5392 \log (V_m) + 2,5438 + N(0,0264)$





-CIÓN PARA DIFERENTES PERÍODOS DE TIEMPO PUES CON LOS CONTROLES DEL PROCESO NO SE LOGRÓ ESTABLECER UNIFORMIDAD EN LAS OSCILACIONES DEL COMPRESOR; EN CAMBIO, CON LAS MUESTRAS (M5) A (M8) DE LAS GRÁFICAS 34 A 37 SÍ FUE POSIBLE HACER QUE ESAS OSCILACIONES SE DEBIESEN ÚNICAMENTE A LA OPERACIÓN DE LA COLUMNA DE FLUIDIZACIÓN Y POR ELLO SE OBTUVIERON FAMILIAS DE RECTAS QUE REPRESENTAN LOS PATRONES DE FLUIDIZACIÓN QUE ES POSIBLE OBTENER, SIENDO LA OSCILACIONES DEL COMPRESOR DEL ORDEN DE  $\pm 0.03$  KGf/m<sup>2</sup> (LOG 0.02 EN LAS GRÁFICAS). ES INTERESANTE SEÑALAR AQUI QUE EN ESTOS CASOS EL CAMBIO DE UN PATRÓN DE FLUIDIZACIÓN A OTRO NO FUE GRADUAL, O SEA QUE EL POLVO SE COMPORTÓ MOVIÉNDOSE ENTRE UNO Y OTRO AL AZAR Y NO DE UN PATRÓN AL INMEDIATO SUPERIOR O INFERIOR Y DE ESE AL SIGUIENTE. LO ANTERIOR SIGNIFICA QUE DENTRO DEL LECHO NO EXISTEN CORRIENTES DE POLVO CON MOVIMIENTO EN DIRECCIONES DEFINIDAS SINO QUE, DEBIDO A LA DIVERSIDAD DE FORMAS, TAMAÑO Y DENSIDAD QUE POSEE CADA PARTÍCULA, EXISTEN TANTOS MOVIMIENTOS POSIBLES EN DIRECCIONES TAN DIVERSAS COMO PARTÍCULAS HALLA; ES DECIR QUE LAS FAMILIAS DE RECTAS OBTENIDAS REPRESENTAN SOLAMENTE LOS POSIBLES PATRONES HIDRODINÁMICOS CON QUE PUEDE CARACTERIZARSE AL LECHO DENTRO DE UN RANGO DE VELOCIDADES DE AIRE DEFINIDO. DE HECHO, SERÍA POSIBLE EN UN MOMENTO DADO DEFINIR PLANOS EN LUGAR DE LINEAS QUE CARACTERIZEN EL COMPORTAMIENTO DEL POLVO EN FORMA ANALÓGICA A LA PROPUESTA POR REH EN SU DIAGRAMA DE FASES (25), SOLAMENTE QUE EN ESTE CASO EL HECHO DE QUE EXISTA UNA DISPERSIÓN EN LA DISTRIBUCIÓN DE TAMAÑOS Y EL RESTO DE LOS FACTORES ENUNCIADOS (COMO LA FORMA Y LA DENSIDAD DE LA PARTÍCULA) HACE QUE CADA MUESTRA POSEA UNA ZONA DEL DIAGRAMA DE FASES MUY PARTICULAR QUE SÓLO ES POSIBLE DETERMINAR EXPERIMENTALMENTE.

POR ÚLTIMO, SE TIENE QUE LA PENDIENTE DE LAS RECTAS OBTENIDAS QUE DE HECHO SON UNA CARACTERÍSTICA PROPIA DE CADA PATRÓN DE FLUIDIZACIÓN QUE EXPRESA LA RELACIÓN ENTRE LA CAÍDA DE PRESIÓN Y LA VELOCIDAD DEL LECHO, ES UNA MEDIDA DEL "EQUILIBRIO" DE ESAS DOS VARIABLES DE SUERTE QUE AL ACERCARSE A LA UNIDAD (PENDIENTE CON ANGULO DE 45º) ES MENOR LA DISTANCIA RELATIVA QUE HABRÁ ENTRE LAS CURVAS DE VELOCIDAD Y CAÍDA DE PRESIÓN GRAFICADAS CONTRA EL TIEMPO. FÍSICAMENTE PODRÍA EXPRESARSE ESTO COMO LA UNIFORMIDAD DEL LECHO DE MANERA QUE EL VALOR DE 1 INDIQUE QUE TODA PARTÍCULA SÓLIDA SE HALLA EN MOVIMIENTO UNIFORME AUNQUE SE TRATE DE UN PATRÓN GENERAL DE BAJA O ALTA VELOCIDAD. YERUSHALMI (27) LLAMA A ESTO "RELACIÓN DE SÓLIDOS" DICIENDO QUE AL ACERCARSE LA PENDIENTE A CERO SE ESTÁ INCREMENTANDO LA MASA DE SÓLIDOS QUE DESPLAZA UN VOLUMEN DE FINIDO DE AIRE.

### 11.2.6.3 FLUIDIZACIÓN Y RECONSTITUCIÓN.

DESDE EL PUNTO DE VISTA DE LA RECONSTITUCIÓN LA FLUIDIZACIÓN ES IMPORTANTE EN 2 ASPECTOS PRINCIPALES: EL PRIMERO ES LA DE TEM

TEMPERATURA DEL LECHO, QUE COMO SE HA DICHO INCIDE EN LA SOLUBILIDAD DEL PRODUCTO FINAL Y EL SEGUNDO ES EL PATRÓN HIDRODINÁMICO DE FLUIDIZACIÓN, QUE DEBE SER UNIFORME PARA QUE EL TRATAMIENTO TÉRMICO SEA HOMOGÉNEO; TAMBIÉN DEBE SER UN PATRÓN LO SUFICIENTEMENTE RÁPIDO COMO PARA PROPICIAR EL SECADO A BAJAS TEMPERATURAS Y AL MISMO TIEMPO, MODERADO PARA EVITAR EL DETERIORO MECÁNICO DE LA PARTÍCULA.

### 111.2.7 ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA DE PARTÍCULA.

CON RESPECTO A LA ESTRUCTURA FINAL DEL POLVO, SE HIZO NUEVAMENTE UN ANÁLISIS DE MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO PARA PODER OBSERVAR LAS CARACTERÍSTICAS QUE SE IMPARTIERON A LAS MUESTRAS TRAS QUE SE LOGRARON HUMECTARSE Y COMPARARLAS CON LAS DE LA MATERIA PRIMA.

LAS FOTOGRAFÍAS 19, 20 Y 21 PRESENTAN LA ESTRUCTURA GENERAL DEL AGLOMERADO RESULTANTE EN LAS MUESTRAS (M6), (M3) Y (M4). COMO PRIMERA OBSERVACIÓN SE DESTACA EL SENSIBLE AUMENTO DEL ESPACIO VACÍO ENTRE GRÁNULOS ASÍ COMO EL BAJO NÚMERO DE PARTÍCULAS PEQUEÑAS O TROZOS SUELTOS QUE NO SE INCORPORARON A LOS AGLOMERADOS. LA ESTRUCTURA DE LOS AGLOMERADOS ESTÁ FORMADA POR LA ADHERENCIA DE UNA PARTÍCULA A OTRAS DONDE AL PARECER LAS MÁS PEQUEÑAS SIRVIERON A MANERA DE PUENTE O RELLENO ENTRE LAS GRANDES, RESULTANDO UNA ESPECIE DE "RACIMOS" QUE SI BIEN TIENEN ESPACIO SUFICIENTE ENTRE UNO Y OTRO, NO PRESENTAN EN CAMBIO UNA ADECUADA PROPORCIÓN DE ESPACIOS VACÍOS ENTRE PARTÍCULAS INDIVIDUALES PUES LA FORMA ESFÉRICA QUE NO SE HA PERDIDO LO IMPIDE AL IGUAL QUE LOS TROZOS DE PARTÍCULAS ROTAS DE LA MATERIA PRIMA QUE SIRVIERON, AL REHUMECTARSE, DE MEZCLA DE RELLENO; ESTO EXPLICA EL PORQUÉ NO SE LOGRÓ ALCANZAR LA DENSIDAD A GRANDEL DE UN POLVO INSTANTÁNEO. ESTOS RACIMOS TAN COMPACTOS CAUSAN QUE LAS MUESTRAS -INCLUSIVE (M6)- TENGAN UNA POBRE SU MERGIBILIDAD Y Poca DISPERSIBILIDAD PUES AUN CUANDO LA SUPERFICIE DE LA PARTÍCULA SE HALLA COMPLETAMENTE MOJADA EL AGUA NO LOGRA PENETRAR A LAS ZONAS INTERNAS DEL AGLOMERADO PARA DISGREGARLO. DE LAS FOTOGRAFÍAS DESTACA IGUALMENTE LA GRAN ÁREA DE CONTACTO ENTRE PARTÍCULAS QUE SE LOGRA CON LA REHUMECTACIÓN POR NIEBLA Y QUE LAS HACE RESISTENTES A LA FLUIDIZACIÓN.

UN PUNTO IMPORTANTE A DESTACAR ES QUE LA FORMA ESFÉRICA DE LAS PARTÍCULAS INDIVIDUALES REDUCE MUCHO LA POROSIDAD DEL GRÁNULO ADEMÁS DE QUE SU TAMAÑO RELATIVAMENTE GRANDE EVITA QUE SE PUEDAN FORMAR CADENAS LARGAS Y DELGADAS PARA QUE EL CONJUNTO ACTÚE COMO UN AGLOMERADO Y NO COMO SI FUESE UNA GRAN PARTÍCULA SÓLIDA.

EL FENÓMENO ANTERIOR CONOCIDO COMO FORMACIÓN DE MONOGRÁNULOS ES UNA TENDENCIA QUE SE DA EN LAS MUESTRAS (M4) Y (M3) Y PUEDE OBSERVARSE EN LAS FOTOS 24 Y 25. EN ÉSTAS FOTOGRAFÍAS SE APRECIA CLA

-RAMENTE COMO EXISTEN AGREGADOS DE PARTÍCULAS QUE LLEGAN A SER TAN COMPACTOS QUE PRÁCTICAMENTE CONSTITUYEN UNA NUEVA PARTÍCULA DE GRAN DENSIDAD; LA FOTO 25 DE LA MUESTRA (M4) ILUSTR A UNA POSIBLE RAZÓN DE PORQUÉ DICHA MUESTRA TUVO LA HUMECTABILIDAD MAS BAJA DE LAS 3 QUE SE LOGRARON HUMECTAR PUES AL PARECER LOS MONOGRÁNULOS ALCANZARON EN ELLA UNA MAYOR EXTENSIÓN Y ESTO SE PUEDE COMPROBAR COMPARANDO ÉSTA FOTO CON LA NO.24 TOMANDO EN CUENTA EL AUMENTO DE CADA UNA.

SE HA EXPLICADO YA POR QUÉ LAS MUESTRAS TIENEN UNA MALA HUMECTABILIDAD Y SOLUBILIDAD; SIN EMBARGO, LA MEJORA CONSEGUIDA EN LA HUMECTABILIDAD NO PUEDE DEBERSE SOLAMENTE AL AUMENTO EN EL DIÁMETRO DE PARTÍCULA DESDE UN ÁNGULO DE LA ESTRUCTURA SINO QUE EXISTE ADEMÁS UN FACTOR IMPORTANTE. SIENDO LA HUMECTABILIDAD UN FENÓMENO DE INTERACCIÓN DE SUPERFICIES LA DISMINUCIÓN QUE ES POSIBLE CONSEGUIR CON EL PROCESO EXPERIMENTADO EN LA RUGOSIDAD QUE MOSTRABA LA PARTÍCULA DE MATERIA PRIMA REPRESENTA UN AVANCE INTERESANTE; EN LAS FOTOGRAFÍAS DE (M6) QUE LOGRÓ UNA HUMECTABILIDAD QUE SE PUEDE CALIFICAR DE EXCELENTE TOMANDO EN CUENTA SUS ANTECEDENTES DE ELABORACIÓN, SE PUEDE OBSERVAR (FOTOS 22 Y 23) CÓMO LA NUEVA TEXTURA CONSEGUIDA EN LA SUPERFICIE GRANULAR CONTRIBUYE A LA DISMINUCIÓN DE LA TENSIÓN SUPERFICIAL NO SÓLO POR DARLE UN CARÁCTER RUGOSO A LA SUPERFICIE SINO TAMBIÉN POR QUE LAS RUGOSIDADES SON DE UN TAMAÑO IMPORTANTE EN RELACIÓN AL TAMAÑO DE PARTÍCULA. ÉSTA MUESTRA FUE REHUMECTADA HASTA 12% POR LO QUE LA NIEBLA TUVO EL EFECTO DE PRODUCIR UNA BUENA AGLOMERACIÓN CON PARTÍCULAS RUGOSAS QUE NO LLEGARON A FORMAR MONOGRÁNULOS. EN LA FOTOGRAFÍA 27 ES POSIBLE VER QUE EN EL CASO DE (M3) -REHUMECTADA HASTA 16%- EXISTE TAMBIÉN RUGOSIDAD PERO ÉSTA VEZ LA SOLUBILIZACIÓN DE LA SUPERFICIE LLEGÓ A TAL NIVEL QUE PROPICIO LA FORMACIÓN DE MONOGRÁNULOS.

COMO SE PUEDE VER EN LAS FOTOGRAFÍAS, LA AGLOMERACIÓN Y SECA DO POR FLUIDIZACIÓN NO EJERCE PRÁCTICAMENTE NINGÚN EFECTO SOBRE LA FORMA DE LA PARTÍCULA Y ÉSTA ACTÚA AL PARECER MÁS COMO UN CONJUNTO DE PARTÍCULAS INDIVIDUALES QUE COMO UNA UNIDAD.

UNA OBSERVACIÓN DIGNA DE MENCIÓN SE REFIERE A LA FOTO 22 QUE CORRESPONDE A (M6), DONDE SE PUEDE OBSERVAR QUE EN LA FRANJA CENTRAL DE LA PLACA LA IMAGEN ESTÁ LIGERAMENTE DISTORSIONADA CON LAS LINEAS DE BARRIDO DESPLAZÁNDOSE. LO ANTERIOR SE DEBIÓ A QUE EN EL MOMENTO DE ENFOCAR ALGUNAS TOMAS, ESPECIALMENTE CON AUMENTOS MAYORES DE 700 VECES, EL CALOR DEL HAZ ELECTRÓNICO OCASIONABA QUE LA PARTÍCULA ENFOCADA COMENZARA A MOVERSE. EL TÉCNICO RESPONSABLE DEL MICROSCÓPIO EXPLICÓ QUE ELLO SE DEBÍA A BOLSAS DE AIRE QUE AL SER CALENTADAS EN UN PUNTO LOCALIZADO SALÍAN RÁPIDAMENTE DE LA PARTÍCULA. ESTO ES SIGNIFICATIVO PARA ÉSTE ESTUDIO PUES LA PRESENCIA DE AIRE EN EL POLVO INDICA QUE EXISTE UNA FRACCIÓN DE ESPACIOS VACÍOS EN EL INTERIOR DEL POLVO SUFICIENTEMENTE GRANDE COMO PARA PROMOVER LAS CUALIDADES INSTANTÁNEAS DE LA LECHE; LOS RESULTADOS DE DENSIDAD A GRANUL DE LA GRÁFICA 28 APOYAN ÉSTA AFIRMACIÓN.

UN FACTOR RELACIONADO CON LO ANTERIOR Y QUE ES CAUSA DE LOS BUENOS RESULTADOS OBSERVADOS EN (M6) SE PUEDE APRECIAR EN LA FOTO 26 DONDE APARECE UNA SECCIÓN DE UNA PARTÍCULA CUBIERTA POR GRAN NÚMERO DE CAPILARES O POROS DE DIVERSOS TAMAÑOS. SE MENCIONÓ YA EN LA EXPLICACIÓN PROPUESTA PARA LOS PROCESOS DE REHUMECTACIÓN POR VAPOR Y NIEBLA QUE ÉSTE ÚLTIMO MÉTODO POSEE LA VENTAJA DE PROPORCIONAR UNA DISTRIBUCIÓN UNIFORME DE LA HUMEDAD PRESERVANDO DESCUBIERTOS LOS POROS O CAPILARES YA EXISTENTES. AHORA BIEN, SI SE PIENSA QUE AL SER NUEVAMENTE SECADA LA PARTÍCULA LA SALIDA DEL AGUA DEL INTERIOR SE DA POR CAPILARIDAD, LO CUAL ES MUY PROBABLE CONSIDERANDO LAS TEMPERATURAS DE LECHO MANEJADAS EN LA FLUIDIZACIÓN, SE PUEDE PENSAR QUE LA LECHE PRESENTARÁ UNA NUEVA ESTRUCTURA SÓLIDA CON CAPILARES QUE, AUNQUE SON PEQUEÑOS Y POCO PROFUNDOS, FAVORECEN EN DEFINITIVA LA HUMECTABILIDAD. TAMBIÉN SE MENCIONÓ QUE UNA VARIANTE IMPORTANTE QUE NO FUE POSIBLE CONTROLAR ES LA NECESIDAD DE QUE EXISTA UN CONTACTO HOMOGÉNEO DEL PRODUCTO CON EL AGUA DURANTE LA AGLOMERACIÓN, Y AQUÍ SE VE UNA CONSECUENCIA DE ELLO EN LA FOTO 28 DONDE LA SUPERFICIE DE UNA PARTÍCULA SECCIONADA APARECE SIN CAMBIO ALGUNO RESPECTO DE LA MATERIA PRIMA.

UNA VEZ QUE SE HAN DISCUTIDO LOS RESULTADOS DE LAS 2 FASES EXPERIMENTALES DEL TRABAJO, SE PASARÁ A CONTINUACIÓN A LA EXPOSICIÓN DE LAS CONCLUSIONES DERIVADAS DE ELLOS.

### III.3 CONCLUSIONES.

#### III.3.1 PRIMERA FASE.

CON RESPECTO A LA PRIMERA FASE, Y DANDO CUMPLIMIENTO AL OBJETIVO PARTICULAR NO. 1, ES POSIBLE CONCLUIR LO SIGUIENTE:

LA TECNOLOGÍA Y EL EQUIPO EMPLEADO EN LA ELABORACIÓN DE LA LECHE ENTERA EN POLVO A PARTIR DE LECHE FRESCA EN LA PLANTA INDUSTRIAL ES LA CORRECTA AUNQUE LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN ESTÁN MAL CONTROLADAS, LO CUAL TIENE COMO CONSECUENCIA QUE TANTO LA ESTRUCTURA FÍSICA COMO LA INTEGRIDAD DE LOS COMPONENTES RESPONSABLES DE LA RECONSTITUCIÓN NO SEAN LOS ADECUADOS.

LOS PROBLEMAS SE PRESENTAN A PARTIR DE LA OPERACIÓN DE PASTEURIZACIÓN DONDE, DEBIDO A LA RELACIÓN TEMPERATURA/TIEMPO UTILIZADA, ES POSIBLE ESPERAR QUE POR LO MENOS LA MITAD DE LAS PROTEÍNAS MÁS TERMOLÁBILES SE DENATURALICEN RESTANDO CON ELLO AL POLVO LA CAPACIDAD DE LIGAR AGUA; EN ÉSTE CASO ES RECOMENDABLE DISMINUIR O EL TIEMPO DE RESIDENCIA HASTA VALORES DE 2 A 3 SEG. PARA EFECTUAR UNA PASTEURIZACIÓN A ALTA TEMPERATURA, O LA TEMPERATURA DEL TRATAMIENTO HASTA UNOS 70°C CON LO CUAL NO SOLO SE EVITA EL DETERIORO TÉRMICO DEL PRODUCTO SINO QUE SE ASEGURA UNA BUENA CALIDAD MICROBIOLÓGICA DE ÉSTE Y EL CONSUMO DE VAPOR SE RACIONALIZA.

CON LA CONCENTRACIÓN EXISTE EL INCONVENIENTE DE QUE EL PORCENTAJE DE SÓLIDOS TOTALES ES BAJO Y ELLO REPERCUTE EN LAS CONDICIONES DE SECADO MODIFICANDO VARIABLES TAN IMPORTANTES COMO EL MECANISMO DE ELIMINACIÓN DE AGUA O EL TIEMPO DE RESIDENCIA EN FORMA NEGATIVA PARA LA RECONSTITUCIÓN. SI SE AJUSTASE EL GASTO MÁSICO DE LECHE DISMINUYÉNDOLO, SE EVITARÍAN A UN TIEMPO LOS PROBLEMAS DE RECONSTITUCIÓN QUE SE ORIGINAN EN LA BAJA CONCENTRACIÓN FINAL Y LA NECESIDAD DE INCREMENTAR LA TEMPERATURA DE ALIMENTACIÓN AL SECADOR, ADEMÁS DEL AHORRO EN CONSUMOS DE ENERGÍA.

UN TERCER PUNTO DE IMPORTANCIA PARA LA CALIDAD INSTANTÁNEA DEL POLVO ES LA HOMOGENIZACIÓN SINCE EXISTE EL RIESGO DE ESTAR EVOLUCIONANDO LA MEMBRANA DEL GLÓBULO DE GRASA POR LAS TEMPERATURAS DE OPERACIÓN DE LOS PROCESOS POSTERIORES, EN COMBINACIÓN CON EL HECHO DE QUE ÉSTA OPERACIÓN SE EFECTÚA EN 2 OCASIONES. PARA SOLUCIONAR ESTO SE RECOMIENDA HOMOGENIZAR UNA SOLA VEZ DESPUÉS DEL EVAPORADOR CON LO QUE SE DARÍA UN TIEMPO SUFICIENTE PARA LA REGENERACIÓN DE LA MEMBRANA GLOBULAR Y SE PODRÍA APROVECHAR LA PRESIÓN DEL PROCESO PARA ALIMENTAR LAS BOQUILLAS DEL SECADOR.

HASTA AQUÍ LA INFLUENCIA PRINCIPAL DE LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN SE MANIFIESTA COMO UN DETERIORO TÉRMICO-MECÁNICO DE LAS FRACCIONES MOLECULARES (ESPECIALMENTE PROTEÍNAS) QUE DETERMINAN UNA BAJA EN LAS POSIBILIDADES DE LIGER AGUA POR PARTE DEL ALIMENTO, AL TIEMPO QUE LO SENSIBILIZAN CON RESPECTO A DAÑOS POSTERIORES DE ÉSTE TIPO, PERO SON EN DEFINITIVA LOS PROCESOS DE SECADO E INSTANTANIZACIÓN LOS QUE PROPORCIONAN UNA ESTRUCTURA FÍSICA A LA PARTICULA DE LAS QUE DEPENDERÁN LAS CALIDADES FINALES DE RECONSTITUCIÓN DE LA LECHE. EN PARTICULAR ES DURANTE EL SECADO QUE SE FORMA LA ESTRUCTURA SÓLIDA QUE DETERMINARÁ EN BUENA MEDIDA LA FACILIDAD CON QUE EL AGUA PODRÁ DISOLVER AL ALIMENTO Y ÉSTA DEPENDE DEL MECANISMO O LOS MECANISMOS DE ELIMINACIÓN DE AGUA QUE DOMINEN DURANTE ESTA OPERACIÓN, MIENTRAS QUE EL SECADO FINAL POR FLUIDIZACIÓN DEBERÁ LLEVAR AL PRODUCTO HASTA LA HUMEDAD QUE GARANTICE SU CONSERVACIÓN SIN MENOCABO DE SU ESTRUCTURA FÍSICA. EN EL PROCESO INDUSTRIAL EN ESTUDIO LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN DEL SECADO NO SE MANEJAN ADECUADAMENTE DEBIDO A QUE DE LOS PROCESOS PREVIOS LLEGA UN ALIMENTO CON BAJA CONCENTRACIÓN DE SÓLIDOS, ALTA TEMPERATURA, DAÑO TÉRMICO A LA FRACCIÓN PROTÉICA Y PRESENCIA DE GRASA LIBRE, LO CUAL SE COMBINA CON UN PATRÓN DE FLUJO DE FLUJO DE LAS CORRIENTES DE AIRE Y LÍQUIDO DENTRO DEL EQUIPO Y CON UN PROCESO DE INCORPORACIÓN DE LECITINA QUE NO SON LOS MÁS ADECUADOS PARA DAR COMO RESULTADO PARTICULAS CON DEFICIENTES CALIDADES DE RECONSTITUCIÓN.

DURANTE LA INSTANTANIZACIÓN Y DEBIDO A LA BAJA HUMEDAD EN LA AGLOMERACIÓN, TEMPERATURAS ELEVADAS Y DAÑO MECÁNICO DURANTE LA FLUIDIZACIÓN, SE ACENTÚA EL DETERIORO DEL PRODUCTO.

DE TODO LO ANTERIOR SE DESPRENDE QUE EL PROBLEMA NO SE HALLA LIMITADO A UNA SOLA OPERACIÓN SINO QUE LAS DEFICIENTES CALIDADES INSTANTÁNEAS DEL PRODUCTO FINAL SE ORIGINAN EN LA PASTEURIZACIÓN.

-Y DE ALLÍ EN ADELANTE EN UN DEFICIENTE CONTROL DE VARIABLES EN LAS OPERACIONES POSTERIORES CUYOS EFECTOS SE VAN SUMANDO Y AGRAVANDO HASTA LLEGAR AL PRODUCTO TERMINADO. ESTE PRODUCTO TERMINADO QUE SE EMPLEÓ COMO MATERIA PRIMA DE LA SEGUNDA FASE EXPERIMENTAL TIENE UNA NULA CALIDAD INSTANTÁNEA DEBIDO A LOS SIGUIENTES FACTORES:

- DENATURALIZACIÓN DE PROTEÍNAS.- QUE SE DA POR EFECTO TÉRMICO EN PASTEURIZACIÓN, SECADO E INSTANTANIZACIÓN Y CUYAS CONSECUENCIAS SE MANIFIESTAN PRINCIPALMENTE COMO DISMINUCIÓN DE LA SOLUBILIDAD.
- RIGIDEZ SUPERFICIAL.- LIGADO AL ANTERIOR Y AL FACTOR FORMA DE LA PARTÍCULA. EVITA QUE UNA VEZ DISPERSO EL POLVO SE SOLUBLE. FORMA DE LA PARTÍCULA.- DETERMINADA POR EL MECANISMO DE SECADO. ES ESFÉRICA LO QUE REPERCUTE EN UNA AGLOMERACIÓN SIN EL VOLUMEN DE ESPACIOS VACÍOS ADECUADO, ELEVA LA DENSIDAD A GRANES. AUMENTA LA TENSIÓN SUPERFICIAL Y FOMENTA LA RIGIDEZ.
- ESTRUCTURA INTERNA.- IGUALMENTE ORIGINADA DURANTE EL SECADO DE LA GOTA. ÉSTA ES HUECA CON PAREDES COMPACTAS DE BAJA POROSIDAD Y Poca RESISTENCIA MECÁNICA.
- SÍNTOMAS DE DESHIDRATACIÓN SEVERA.- QUE OCURREN DESDE EL SECADO HASTA LA INSTANTANIZACIÓN PROPICIANDO LA PRECIPITACIÓN DE PROTEÍNAS Y LA BAJA RESISTENCIA MECÁNICA.
- ESTRUCTURA DEFICIENTE EN EL AGLOMERADO.- DEBIDA A UNA HUMECTACIÓN INSUFICIENTE, SE DESAPROVECHA ADEMÁS LA POSIBILIDAD DE OBTENERLA EN COMBINACIÓN CON LA FUSIÓN TERMOPLÁSTICA A CAUSA DE LA DISCONTINUIDAD EN EL PROCESO. LOS AGLOMERADOS PRÁCTICAMENTE NO EXISTEN EN EL POLVO POR LO QUE TAMPOCO SE DA UNA PENETRACIÓN SUFICIENTEMENTE RÁPIDA DEL AGUA.
- PRESENCIA DE GRASA LIBRE.- QUE SE DA AÚN DESDE EL MOMENTO EN EL QUE LA PARTÍCULA TERMINA DE SECARSE Y VA INCREMENTANDO EN OPERACIONES SUBSECUENTES, CON DETRIMENTO DE LA HUMECTABILIDAD.
- DAÑO MECÁNICO.- EXISTE UN GRAN NÚMERO DE PARTÍCULAS FRAGMENTADAS QUE SON CASI IMPOSIBLES DE HUMECTAR TANTO POR SU REDUCIDAS DIMENSIONES COMO POR LA FORMA Y ESTRUCTURA INTERNA DE ESTAS. ADEMÁS ÉSTOS TROZOS IMPIDEN LA ENTRADA DE AGUA AL RESTO DE LA MASA DE POLVO, SU NÚMERO SE VE INCREMENTADO PRINCIPALMENTE POR LA FLUIDIZACIÓN.
- ENCAPSULAMIENTO.- ORIGINADO EN UN MECANISMO DE SECADO SEVERO QUE HACE QUE LA GRASA ENGLOBE AL RESTO DE LOS COMPONENTES DEL ALIMENTO, CON LO CUAL DISMINUYE SU HUMECTABILIDAD.
- DISTRIBUCIÓN DE LA LECITINA.- QUE POR LAS CONDICIONES EN QUE SE INCORPORA A LA PARTÍCULA SE LOCALIZA EN LA PARTE INTERNA Y NO EN EL EXTERIOR, ADEMÁS DE QUE SU DISTRIBUCIÓN NO ES HOMOGÉNEA EN TODA LA GAMA DE TAMAÑOS YA QUE ES ABSORBIDA PREFERENTEMENTE POR LAS PARTÍCULAS MENORES A LAS QUE IMPARTE UN CARÁCTER IMPERMEABLE, FAVORECIENDO LA FORMACIÓN DE GRUPOS APELMAZADOS QUE INCLUSO LLEGAN HASTA EL PRODUCTO TERMINADO.

### III.3.2 SEGUNDA FASE.

SE MENCIONARON YA LOS DEFECTOS PRINCIPALES QUE PRESENTA EL POLVO Y LAS CAUSAS QUE LOS ORIGINAN. CON LO CUAL SE CUBRE EL OBJETIVO PARTICULAR NO. 1; PARA CUMPLIR LOS OBJETIVOS PARTICULARES NOS 2 Y 3 SE DISEÑO UNA EXPERIMENTACIÓN DONDE SE FIJAN CONDICIONES MODIFICADAS DE OPERACIÓN, REALIZANDO LA AGLOMERACIÓN POR REHUMECTACIÓN HASTA LOS MÁXIMOS NIVELES POSIBLES Y FLUIDIZANDO LAS MUESTRAS A TEMPERATURAS DE LECHO QUE NO DETERIORASEN MÁS AL PRODUCTO.

DE LOS MECANISMOS DE AGLOMERACIÓN UTILIZADOS, SE VIÓ QUE ACTÚAN DE FORMA DIFERENTE EN CUANTO A LA REHUMECTACIÓN DE LA PARTÍCULA Y LA MANERA COMO ESTAS SE UNEN ENTRE SÍ; MIENTRAS QUE LA REHUMECTACIÓN POR NEBLA PRODUCE GRÁNULOS DE TAMAÑO MÁS CERCANO AL RECOMENDADO DE INMEL VAPOR NO TIENE SUFICIENTE PODER AGLOMERANTE Y SÍ PARECE PROPICIAR UN CIERTO GRADO DE RIGIDEZ SUPERFICIAL QUE AFECTA PRINCIPALMENTE A LA SOLUBILIDAD.

CON RESPECTO A LA SOLUBILIDAD, ÉSTA SE HALLA DIRECTAMENTE RELACIONADA A LA INTEGRIDAD QUÍMICA DEL ALIMENTO Y POR ELLO UN PROCESO FÍSICO COMO EL EXPERIMENTADO NO TUVO REPERCUSIONES MAYORES EN DICHA PROPIEDAD, CON EXCEPCIÓN DE UN LIGERO AUMENTO EN EL ÍNDICE REPECTIVO ATIBUÍBLE A LA SUCESIVA REHUMECTACIÓN Y SECADO DEL POLVO; SE ESTABLECE QUE EXISTE UNA RELACIÓN DIRECTA ENTRE LA TEMPERATURA DE LA LECHE DURANTE SU INSTANTANIZACIÓN Y LA INSOLUBILIDAD FINAL DE SUS PROTEÍNAS ASÍ COMO LA INFLUENCIA DEL MECANISMO DE AGLOMERACIÓN.

DE LOS DIAGRAMAS DE FASES DE LA FLUIDIZACIÓN SE CONCLUYE QUE EXISTEN FACTORES COMO LA FORMA DE LOS GRÁNULOS, LA DISPERSIÓN EN LA DISTRIBUCIÓN DE TAMAÑOS, LA DIVERSIDAD EN LA DENSIDAD DE LOS AGLOMERADOS FORMADOS Y SU CAMBIO A LO LARGO DEL SECADO ASÍ COMO LAS TENDENCIAS COHESIVAS DEL POLVO HÚMEDO QUE HACEN MUY DIFÍCIL ESTABLECER UN VALOR ÚNICO DE VELOCIDAD MÍNIMA DE FLUIDIZACIÓN PARA UNA MUESTRA PARTICULAR. ADEMÁS, SI BIEN EL PATRÓN HIDRODINÁMICO DEPENDE FUERTEMENTE DE LA VELOCIDAD SUPERFICIAL DEL AIRE, LOS FACTORES MENCIONADOS HACEN QUE MÁS QUE MOVERSE DENTRO DE UNO O MÁS PATRONES, EL POLVO FLUIDICE EN FORMA CAMBIANTE AL AZAR DENTRO DE UN RANGO DE VELOCIDADES Y CAÍDAS DE PRESIÓN EN EL LECHO. SE DESTACA ASÍ MISMO LA NECESIDAD DE CONTAR CON VIBRACIÓN U OTRA VARIABLE EN EL LECHO QUE PERMITA ROMPER LA ESTRUCTURA DE FISURAS O CANALES QUE SE FORMA DURANTE LA FASE DE LECHO SUSPENDIDO A FIN DE ESTABLECER CONDICIONES MÁS UNIFORMES EN LA OPERACIÓN CON POLVOS DE ESTE TIPO.

CON ÉSTA EXPERIMENTACIÓN SE CUMPLIÓ ADEMÁS EL OBJETIVO GENERAL CONCLUYÉNDOSE QUE SÍ ES POSIBLE MEJORAR LAS CUALIDADES INSTANTÁNEAS DE UN PRODUCTO YA PROCESADO AUNQUE EXISTEN LIMITANTES DEBIDAS A LOS DAÑOS CAUSADOS A ÉSTE DURANTE SU ELABORACIÓN. EN ÉSTE CASO

-SO SE PUDO LLEGAR A ESTABLECER QUE PARA EL TIPO DE MATERIA PRIMA CON QUE SE TRABAJÓ, LA REHUMECTACIÓN POR NIEBLA HASTA 12% PESO CON FLUIDIZACIÓN A UNA TEMPERATURA DE LECHO NO MAYOR A LOS 380C Y CON PATRONES ESTABLES Y UNIFORMES QUE NO LLEGUEN A LA TURBULENCIA, SE TIENE COMO RESULTADO UNA MEJORA SUSTANCIAL EN LA HUMECTABILIDAD.

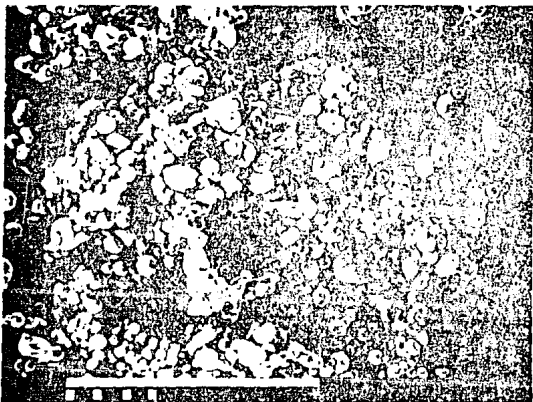
LO ANTERIOR QUIERE DECIR QUE ES FOSIBLE MODIFICAR LA ESTRUCTURA SUPERFICIAL DE LAS PARTÍCULAS Y EN CIERTO GRADO LA POROSIDAD DE LAS MISMAS, AÚN CUANDO ES POCO LO QUE SE PUEDE HACER PARA MEJORAR LAS CARACTERÍSTICAS DEL GRÁNULO COMO CONJUNTO POR LO QUE CUALIDADES DEPENDIENTES DE ESTE FACTOR COMO LA SUMERGIBILIDAD Y LA DISPERSIBILIDAD NO REGISTRARON AVANCE. DADO QUE CON UNA MUESTRA SE LOGRÓ ALCANZAR LOS NIVELES DE HUMECTABILIDAD MOSTRADOS POR EL PATRÓN DE COMPARACIÓN DE LA FASE 1 Y LAS OTRAS DOS QUE SE HUMECTARON ALCANZARON NIVELES CERCANOS SE PUEDE AFIRMAR QUE CON EL MÉTODO EXPERIMENTADO NO HAY INDICIOS DE AUMENTO EN LA FRACCIÓN DE GRASA LIBRE.



REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- (1) KESSLER, H.G.; "FOOD ENGINEERING AND DAIRY TECHNOLOGY"; VER LAG A. KESSLER, EDITOR; 2A.ED; MUNICH, ALEMANIA FEDERAL; 1981.
- (2) BRENNAN, J.G., BUTTERS, J.R., ET AL; "FOOD ENGINEERING OPERATIONS"; ELSEVIER APPLIED SCIENCE PUBLISHERS; 2A.ED; ESSEX, INGLATERRA; 1976.
- (3) KNEULE, F.; "EL SECADO"; ENCICLOPEDIA DE LA TECNOLOGIA QUÍMICA; TOMO I; PP.220- 225; EDITORIAL URMO; BILBAO, ESPAÑA; 1982.
- (4) SPICER, A.; "ADVANCES IN PRECONCENTRATION AND DEHYDRATION OF FOODS"; ELSEVIER APPLIED SCIENCE PUBLISHERS; LONDRES, INGLATERRA; 1979.
- (5) LONCIN, M. & MERSON, R.L; "FOOD ENGINEERING"; PP.115- 133; ACADEMIC PRESS; NUEVA YORK, E.U; 1979.
- (6) VAN ARSDEL, W.B. ET AL; "FOOD DEHYDRATION"; TOMO II; PP.311- 346; AVI PUBLISHING CO.; WESTPORT, E.U; 1973.
- (7) WEBB, B.H. ET AL; "FUNDAMENTALS OF DAIRY CHEMISTRY"; AVI PUBLISHING CO.; 3A.ED; 1980.
- (8) JOSLYN, M.A.; "METHODS IN FOOD ANALYSIS"; ACADEMIC PRESS; 2A. ED; NUEVA YORK, E.U; 1970.
- (9) GILLIES, M.T.; "DEHYDRATION OF NATURAL AND SIMULATED DAIRY PRODUCTS"; PP.37- 77; FOOD TECHNOLOGY REVIEW No.15; NOYES DATA CORPORATION; LONDRES, INGLATERRA; 1974.
- (10) HARPER, W.J & HALL, C.W; "DAIRY TECHNOLOGY AND ENGINEERING"; AVI PUBLISHING CO.; WESTPORT, E.U; 1976.
- (11) HALL, C.W. & HEDRICK, T.I.; "DRYING OF MILK AND MILK PRODUCTS"; AVI PUBLISHING CO.; 2A.ED; 1971.
- (12) GAL, S.; "METHODS FOR SORPTION MEASUREMENT"; PP.444- 447; JOURNAL OF FOOD SCIENCE; No.35; 1970.
- (13) SYMPOSIUM SERIES; "WATER REMOVAL PROCESSES; DRYING AND CONCENTRATION OF FOODS AND OTHER MATERIALS"; C.HUDSON KING; EDITOR; AICE EDITIONS; VOL.73; 1977.
- (14) "DE LAVAL ENGINEERING HANDBOOK"; DE LAVAL TURBINE INC; H.GARTMAN, EDITOR; MC.GRAW- HILL; NUEVA YORK, E.U; 1970.

- (15) MASTERS, K.; "SPRAY DRYING: AN INTRODUCTION TO PRINCIPLES, OPERATIONAL PRACTICE AND APPLICATIONS"; G. GODWIN, EDITOR; 2A ED; 1976.
- (16) TROESCH, H. & WILK, G.; "MILCHWISSENSCHAFT"; PP.215- 222; NO 16.; 1961.
- (17) KURZHALS, H.A; "MILCHWISSENSCHAFT"; PP.637- 645; NO.28; 1973
- (18) HEISS, R.; "DEUTSCHE MÖLKEREI-ZEITUNG"; PP.1036- 1040; NO.24 1970.
- (19) BEYERLEIN, V.; "MILCHWISSENSCHAFT"; PP.637- 644; NO.27; 1972
- (20) DUE JENSEN, J; "PROCESSES OF INSTANTIZING IN DAIRY PRODUCTS" PP.60- 71; FOOD TECHNOLOGY; VOL.29; NO.6; 1975.
- (21) "MANUAL DE TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE ALIMENTOS"; PUBLICACIÓN DEL INSTITUTO NACIONAL DE LA NUTRICIÓN; MÉXICO, 1980.
- (22) GELDART, M; "FLUID PARTICLE SYSTEMS"; PP.285- 292; POWDER TECHNOLOGY; NO.7; 1973.
- (23) BALDWIN, A.J. & SANDERSON, W.B; NEW ZEALAND JOURNAL OF DAIRY TECHNOLOGY; VOL.8; NO.3; PP.92- 100; 1973.
- (24) SCHULZ, M. & VOSS, E; NORTH EUROPEAN DAIRY JOURNAL; VOL.49; NO.6; PP.151- 156; 1984.
- (25) LEVA, V; "FLUIDIZATION"; PP.45- 63; MC.GRAW-HILL; NUEVA YORK 1960.
- (26) REH, G.; "FLUIDIZATION ENGINEERING"; GERMAN CHEMICAL ENGINEERING; NO.1; PP.319- 328; 1978.
- (27) WHITEHEAD, D.; "FLUIDIZATION"; ACADEMIC PRESS; LONDRES, INGLA TERRA; 1971.
- (28) MALYUKOV, S.A & BURYKIN, A.I; "FLUIDIZATION OF WHOLE MILK POWDER"; TRUDY VSESOYUZNI NAUCHNO:SSLEDOVATEZ' SKII; MOLOCHNOI INSTITUTE; PROMYSHELNOSTI; NO.49; PP.33- 34; MOSCU,URSS 1979.
- (29) MALYUKOV, S.A & BURYKIN, A.I; "EFFECT OF ADHESION PROPERTIES OF DRIED WHOLE MILK ON ITS FLUIDIZATION"; TRUDY VSESOYUZNI NAUCHNO:SSLEDOVATEZ' SKII; MOLOCHNOI INSTITUTE; PROMYSHELNOSTI; NO.46; PP.9- 16; MOSCU, URSS; 1978.
- (30) AGENDA ESTADÍSTICA 1985. SECRETARÍA DE PROGRAMACIÓN Y PRESUPUESTO; I.N.E.G.I; OCTUBRE DE 1986.



FOTOGRAFIA No. 1.

Muestra: S1

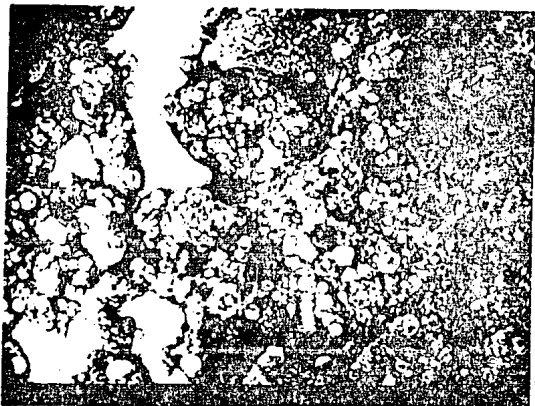
Aumento: 45 veces.



FOTOGRAFIA No. 2

Muestra: S1

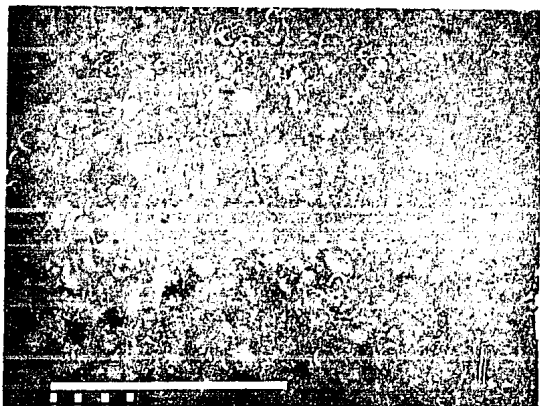
Aumento: 1,000 veces.



FOTOGRAFIA No. 3

Muestra: S2

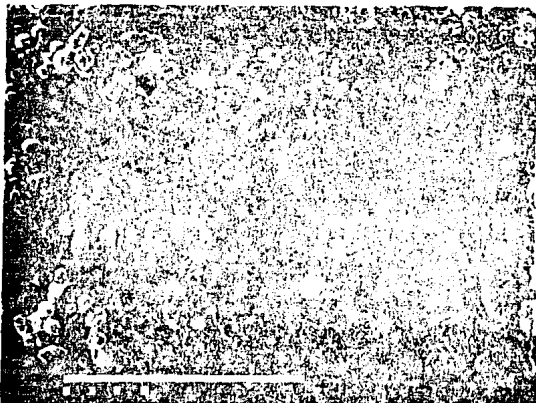
Aumento: 45 veces.



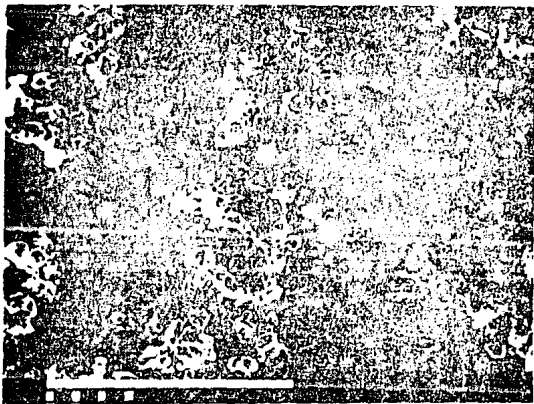
FOTOGRAFIA No. 4

Muestra: I4

Aumento: 45 veces.



FOTOGRAFIA No. 5  
Muestra: I1  
Aumento: 45 veces.



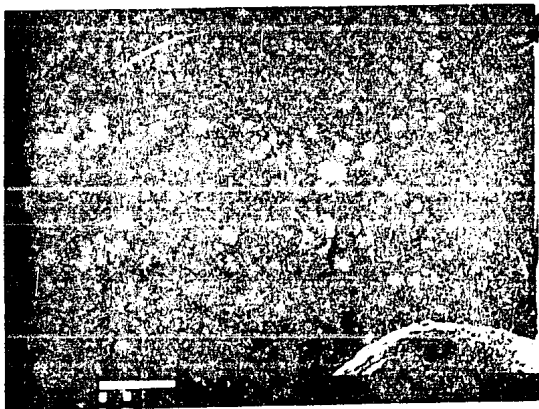
FOTOGRAFIA No. 6  
Muestra: Nido  
Aumento: 45 veces.



FOTOGRAFIA No. 7

Muestra: S1

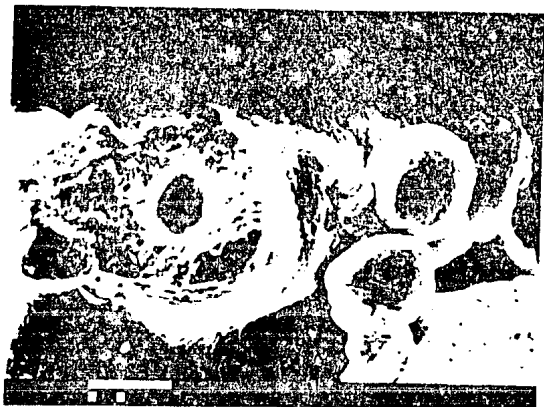
Aumento: 700 veces.



FOTOGRAFIA No. 8

Muestra: I2

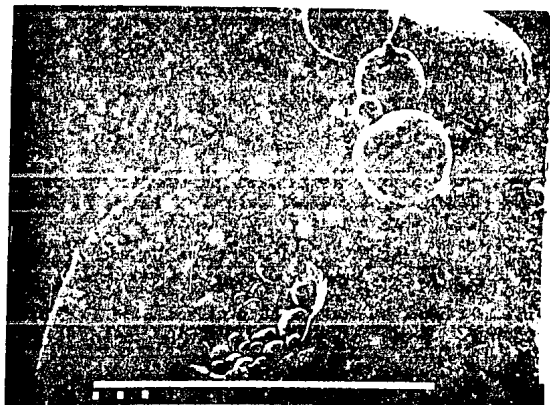
Aumento: 1,500 veces



FOTOGRAFIA No. 9

Muestra: Nido

Aumento: 1,500 veces.



FOTOGRAFIA No. 10

Muestra: I3

Aumento: 700 veces.



FOTOGRAFIA No. 11

Muestra: I2

Aumento: 4,500 veces.



FOTOGRAFIA No. 12

Muestra: I2

Aumento: 1,500 veces.





FOTOGRAFIA No. 13

Muestra: Nido

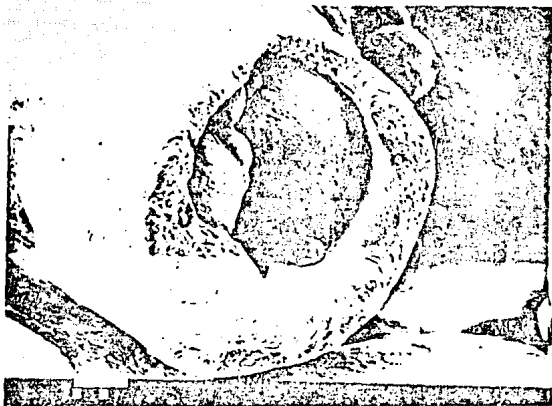
Aumento: 7,000 veces.



FOTOGRAFIA No. 14

Muestra: Nido

Aumento: 7,000 veces.



FOTOGRAFIA No. 15

Muestra: 14

Aumento: 1,000 veces.



FOTOGRAFIA NO. 16

Muestra: 13

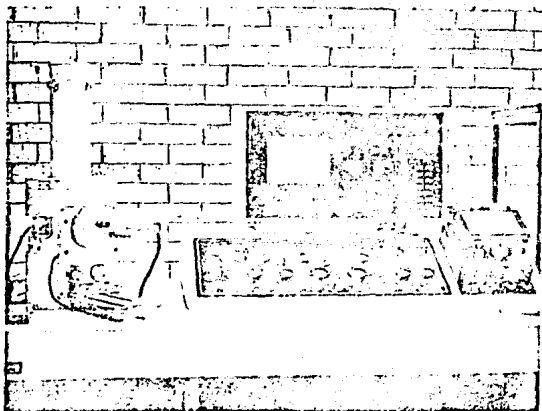
Aumento: 1,000 veces.



FOTOGRAFIA No. 17

Muestra: 14

Aumento: 450 veces.



FOTOGRAFIA No. 18

Microscopio electrónico de barrido

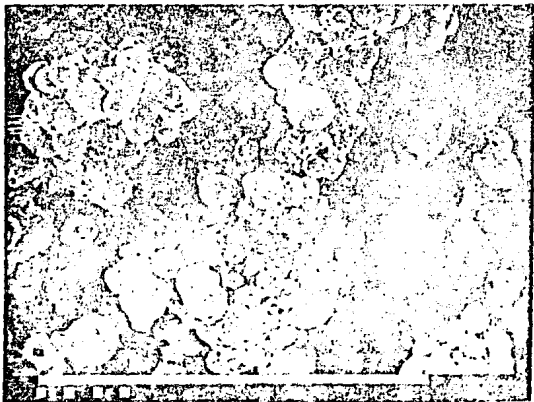
Jeol/JSM-25-S-II.



FOTOGRAFIA No. 19  
Muestra: M6  
Aumento: 70 veces.



FOTOGRAFIA No. 20  
Muestra: M3  
Aumento: 70 veces.



FOTOGRAFIA No. 21  
Muestra: M4  
Aumento: 70 veces.



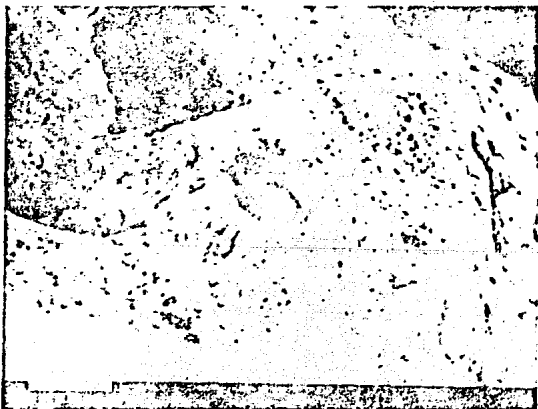
FOTOGRAFIA No. 22  
Muestra: M6  
Aumento: 1,000 veces.



FOTOGRAFIA No. 27

Muestra: M3

Aumento: 450 veces.



FOTOGRAFIA No. 28

Muestra: M3

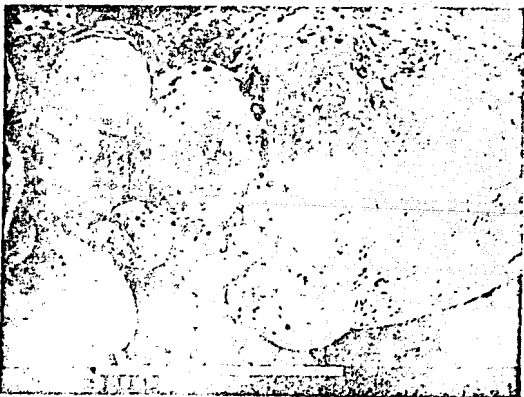
Aumento: 1,500 veces.



FOTOGRAFIA NO. 23

Muestra: H6

Aumento: 1,500 veces.



FOTOGRAFIA No. 24

Muestra: M3

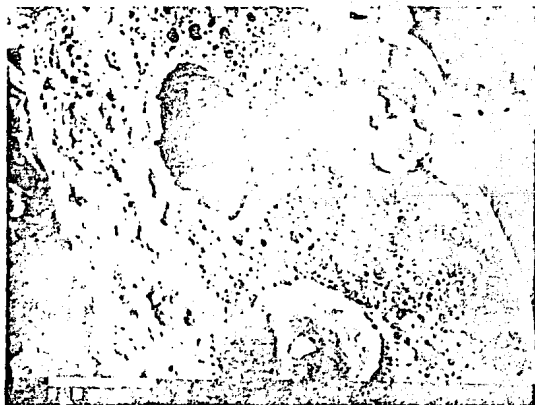
Aumento: 1,000 veces.



FOTOGRAFIA NO. 25

Muestra: M4

Aumento: 700veces.



FOTOGRAFIA No. 26

Muestra: M6

Aumento: 2,000 veces