

INTRODUCCIÓN

En el departamento de Nariño el común denominador a nivel de Implementación de fabricas de producción de alimentos es hacer primero los procesos para satisfacer una OPORTUNIDAD en el mercado, elaborar los productos, ajustar el proceso y mantener la producción a través de una labor repetitiva, transmitiendo el conocimiento de las pautas con el uso del lenguaje oral. Si el producto es exitoso se incrementa poco a poco su mercado y por lo tanto la infraestructura se amplía desordenadamente y con el único fin de suplir la necesidad. Esto hace que los procesos establecidos NO sean planeados, documentados, ni diseñados bajo normas o conceptos de Ingeniería, entre otros, generando productos no estandarizados, con procesos ineficientes y de poca trazabilidad (no se puede seguir el rastro de los problemas) que ponen en riesgo la calidad del producto.

Lo anterior no fue del todo ajeno a la historia del producto yogur bolsa Colácteos, aunque en la actualidad se goza de mayores garantías técnicas que las descritas, es importante mejorar aún muchos aspectos, por esto nos proponemos implementar una metodología encaminada a cambiar la forma empírica actual de observar los procesos, por parte de los técnicos responsables de los mismos, mediante la aplicación de este trabajo el cual expone el uso de una herramienta científica poco usada en la observación de los comportamientos de los alimentos, como es la Reología, demostrando que las bases teóricas suministradas por la ingeniería de alimentos son de fácil aplicación para rediseñar y corregir procesos que están en funcionamiento, potencializando sus bondades y minimizando o eliminando sus defectos, basados en el aseguramiento del control adecuado de los procesos, para que estos sean mas confiables y más eficientes, con el manejo apropiado de las limitaciones del entorno como son la baja disponibilidad de presupuestos y el bajo impulso a la investigación.

Lo anterior redundará en beneficios económicos ya que los procesos eficientes son menos costosos, los procesos controlados son menos riesgosos disminuyendo pérdidas por devoluciones y los procesos documentados permiten una permanente evolución y perfeccionamiento.

Con los conceptos teóricos adquiridos en la especialización, buscamos una aplicación práctica sobre un proceso específico como es el de la obtención del Yogur bolsa marca Colácteos. Para alcanzar este propósito, se diseño y construyó un VISCOSÍMETRO de línea y un REACTOR PILOTO a escala de

los que actualmente se usan en el proceso, buscando un costo asequible (Capítulo 2) y con el cual se efectuó un procedimiento de caracterización reológica del producto (Capítulo 3), investigando la incidencia de algunas variables físicas del proceso que afectan la calidad del yogur, con el fin de determinar que aspectos se deben cuidar en función de obtener un producto de las mismas características (estandarizado) para cada bache de producción y en forma mas eficiente (Capítulo 4 y 5), sin olvidar la repercusión ecológica del proceso para el entorno con el fin de establecer parámetros que permitan un manejo sostenible(Capítulo 6), Para finalizar se propone un plan de trabajo con el fin de ampliar y mejorar este estudio sugiriendo un rediseño preciso del proceso controlando las variables detectadas (Capítulo 7 y 5).

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Establecer un plan de correctivos viables para estandarizar los procesos y procedimientos en la obtención del yogurt marca COLACTEOS, basados en los conceptos y parámetros proporcionados por la ingeniería de procesos de alimentos, para obtener un producto de manera más eficiente y de mayor calidad, trabajo que se realizará en la planta procesadora de fermentados “ARANDA” y en beneficio de la COOPERATIVA DE PRODUCTOS LÁCTEOS DE NARIÑO.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Implementar una metodología científica para la evaluación y el desarrollo de los productos elaborados en planta , investigando los comportamientos en cada etapa de su elaboración.
- Estandarizar el proceso y el producto, realizando un seguimiento y verificando su comportamiento reológico.
- Dotar al laboratorio de control de calidad de un equipo piloto para determinar las características reológicas del producto y efectuar ensayos de desarrollo del producto, donde indique los requerimientos de composición y estructura que deba tener el producto terminado.
- Establecer las características reológicas del yogurt estándar, a partir de los resultados que expresen las pruebas reológicas que se realicen durante el proceso.
- Implementar los parámetros estándar en cada etapa de el proceso de elaboración del yogurt.
- Presentar una propuesta técnica para mejorar la eficiencia del proceso de producción de yogurt ante la Cooperativa de productos lácteos de Nariño.
- Implementar una metodología de pruebas reológicas para el yogurt, durante todas las etapas de su proceso, con base a los resultados de la investigación.

- Llevar a la aplicación los conocimientos adquiridos en la especialización reflejados en la adaptación inmediata, en un proceso productivo de industrialización de un alimento.

1. EVALUACIÓN DEL PROCESO

1.1 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

La Cooperativa de Productos Lácteos de Nariño Ltda. COLACTEOS, inició en marzo de 1977, con la planta enfriadora en Guachucal, donde se acopiaba la leche y se distribuía a otros departamentos. Hacia 1979, se hizo el primer intento de pasteurizar la leche, y se lanzó al mercado la leche pasteurizada Napanguita, En 1984 se lanzó al mercado la leche pasteurizada Cooprolácteos, con el apoyo de la Misión Holandesa en cuanto a tecnología y conocimientos, dando paso al procesamiento de quesos, crema de leche y mantequilla, hasta que en el primer trimestre de 1987 se inicia la producción de Yogur y Kumis. Así la Cooperativa se apropia de una tecnología que ha mantenido, cultivado y mejorado en el transcurso de su historia.

La Cooperativa de productos lácteos de Nariño, Colácteos Ltda., se fundó con el fin de agrupar a los ganaderos del Departamento, garantizarles perspectivas de desarrollo en su campo de acción y defender sus intereses bajo los principios cooperativos, de bienestar económico y social del gremio: inicia en 1970 con 30 asociados y en la actualidad son 350 aproximadamente. El 88% de la captación de leche se realiza entre los asociados

La Cooperativa de productos lácteos de Nariño es una empresa del sector cooperativo agroindustrial cuyo objetivo es el manejo integral de la leche producida en parte del departamento de Nariño, al sur de Colombia, en sus objetivos empresariales contempla el manejo durante toda la cadena productiva; desde la producción de la leche, la industrialización en productos lácteos y la comercialización de los mismos.

La solidez empresarial de Colácteos, su penetración en los mercados nacionales, los programas de desarrollo y transferencia de tecnología hacen que este sea un sector pujante en el departamento.

Posee como parte de su infraestructura cuatro plantas procesadoras con capacidad promedio total de 100000 lts / día, especializándose cada una de ellas en obtener los diversos derivados lácteos, así:

PLANTA ARANDA: Leches fermentadas (Yogur y Kumis), arequipe, crema de leche, leche pasteurizada y agua purificada.

PLANTA PUIPALES: Quesos frescos de pasta prensada e hilada y quesos semimaduros.

PLANTA CALI: Refrescos no carbonatados y leche pasteurizada.

PLANTA GUACHUCAL: Quesos madurados .

En PLANTA ARANDA se procesan en promedio 40000 Lit / día de leche así:

- Leche pasteurizada 30000 lit / día
- Yogur sin fruta 6000 lts / día.
- Yogur con fruta, Kumis y otros: 40000 lits / día
- Agua procesada en bolsa: 2000 lts / día

1.1.1 Objetivos generales de la Empresa

- Brindar estabilidad económica al asociado en la actividad fundamental a la cual va dirigida la Cooperativa, fomentando el espíritu asociativo y de desarrollo del Gremio Ganadero de Nariño.
- Organizar actividades económicas e industriales que generen rentabilidad a la Cooperativa y permitan brindar al Asociado una mejor prestación de servicios en forma de Empresa.

1.1.2 Generalidades de la Planta Aranda

Se encuentra ubicada en el barrio La Floresta de la ciudad de Pasto, los productos que se obtienen son la Leche pasteurizada y los derivados lácteos que son: yogur, Kumis. Arequipe y crema de leche cuyas presentaciones se esquematizan en la Tabla 1.

1.1.2.1 Personal: En la planta Aranda se encuentra laborando 53 personas, 6 hacen parte de la administración cuyo nivel de formación está entre el profesional y el técnico, y en la parte operativa, se encuentran 47 operarios quienes en su mayoría son bachilleres.

1.1.3 Distribución en Planta.

La parte operativa de la planta está dividida en siete zonas que se encuentran demarcadas en la Figura 1 y son:

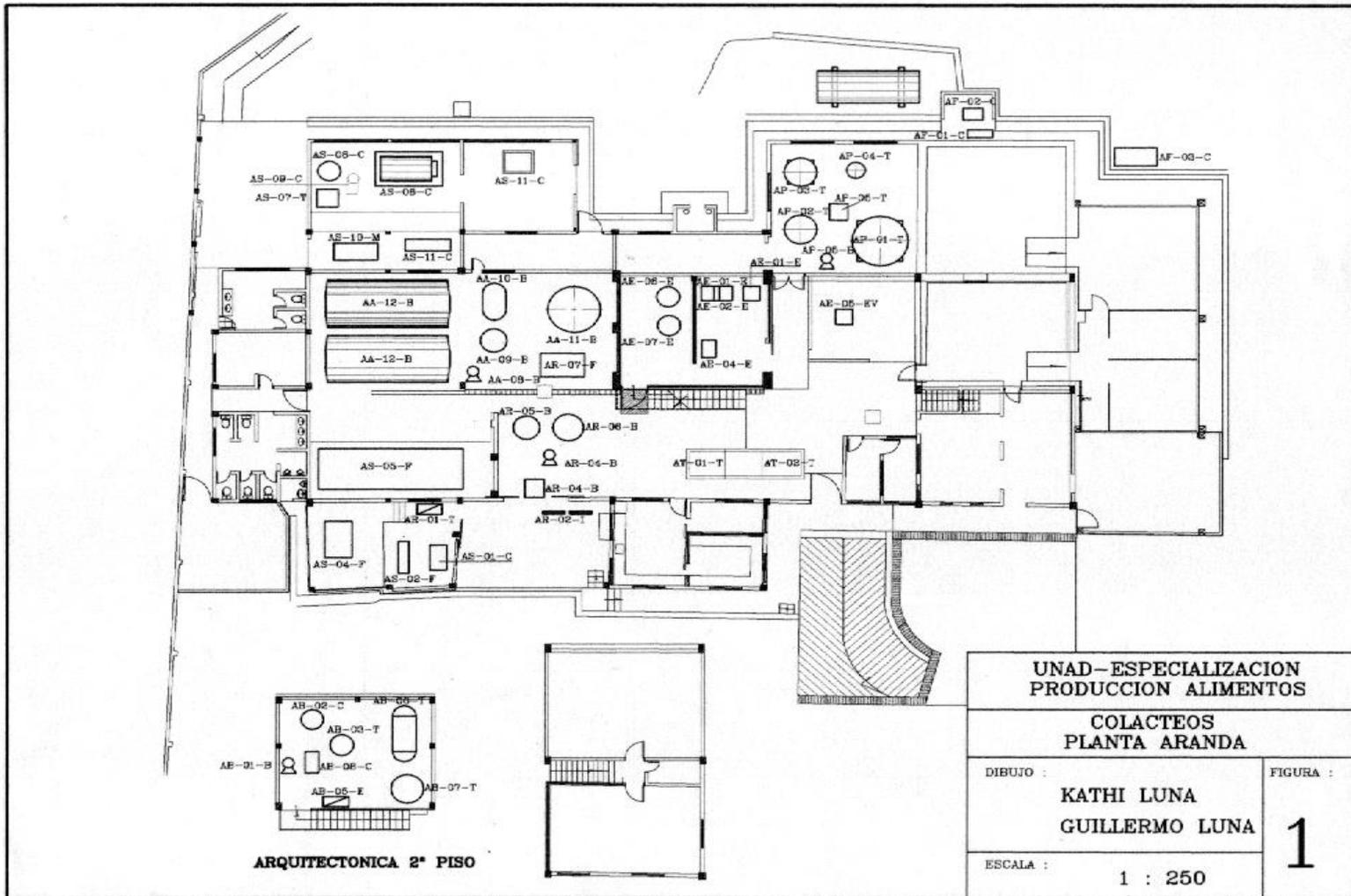
Zona 1 : Recepción y Almacenamiento

Zona 2 : Producción

Tabla 1. Productos de Planta Aranda

PRODUCTO	DESCRIPCION	PRESENTACION	MARCA	VIDA UTIL	USOS
Leche	Leche entera sometida a los procesos de filtración, enfriamiento, pasterización y homogenización	Bolsas de polietileno 250cc.,500cc, 750cc, 1000cc	Colácteos y Fresca Colácteos	72 hr refriger 2°C – 5°C	Alimento básico para niños y adultos, fuente de calcio y vitaminas, sola, acompañada, para comidas, etc.
Yogur	Leche entera pasterizada y homogenizada, a la cual se le adiciona un cultivo láctico específico para obtener las características óptimas de textura y acidez. SABORES: durazno, fresa, mora, piña, guanábana, café, sin azúcar. CLASES: Y. Bolsa: con sabores y colores Y. vaso: con mermelada de fruta Y.Cereal: yogur natural con maíz precocido en forma de hojuelas o arroz tostado recubierto con chocolate.	Y. Bolsa: Bolsa de polietileno 150g, 1 Lt Y. vaso: vaso plástico de 200g y 150 g Garrafa plástica: 750cc, 1750cc, 4 Lt. Y. Cereal: Vaso plástico 170cc y sobre capa con cereal 20g Vaso plástico 170cc y sobre capa con cereal 20g	Colácteos y Tapioca Colácteos Colácteos y Tapioka	21 días refrigeración 2 ° - 5 °C	Mejora los procesos digestivos, reemplaza a la leche en personas con intolerancia a la lactosa, golosina, desayunos, complemento alimenticio.
Arequipe	Dulce de leche elaborado con leche entera, pasterizada, obtenido por concentración térmica de los sólidos de la leche con el azúcar. Materia grasa láctea min 7% Sólidos no grasos min 17% Humedad max 30% Consistencia elástica, lisa y condensada, color marrón.	Vaso plástico 50g, 150g, 1200g, 4000g.	Colácteos	45 días en lugar fresco y seco o refrigerado	Golosina, solo o acompañado, pasabocas, repostería.
Crema de leche	Producto elaborado con la crema de leche entera, sometida a los proceso de estandarización y pasterización, grasa mínima: 40%	Frasco de vidrio: 240cc, 480cc, bolsa plástica de 10 Lt, Pote de 1.1 Lt y 3.7 Lt	Colácteos y Tapioca Colácteos	21 días refrigerado 2 – 5 °C	Comidas y repostería
Kumis	Leche entera pasterizada y homogenizada, a la que se le adiciona un cultivo láctico específico para obtener un sabor suave y una consistencia ligeramente espesa.	Vaso plástico 210g, 200g Garrafa plástica: 750cc, 1750cc, 4 Lt	Colácteos Tapioca Colácteos y Tapiuoka	21 días refrigerado 2 – 5 °C	Mejora los procesos digestivos, golosina, desayunos, complemento alimenticio.

- Fuente, este estudio



- 2.1 Pasterización
- 2.2 Producción de derivados

Zona 3 : Empaque

- 3.1 Empaque de leche pasteurizada
- 3.2 Envase de yogur y Kumis en vaso y garrafa

Zona 4 : Etiquetado

Zona 5 : Control de Calidad

Zona 6 : Cuartos fríos y despachos

Zona 7 : Servicios.

1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO ACTUAL

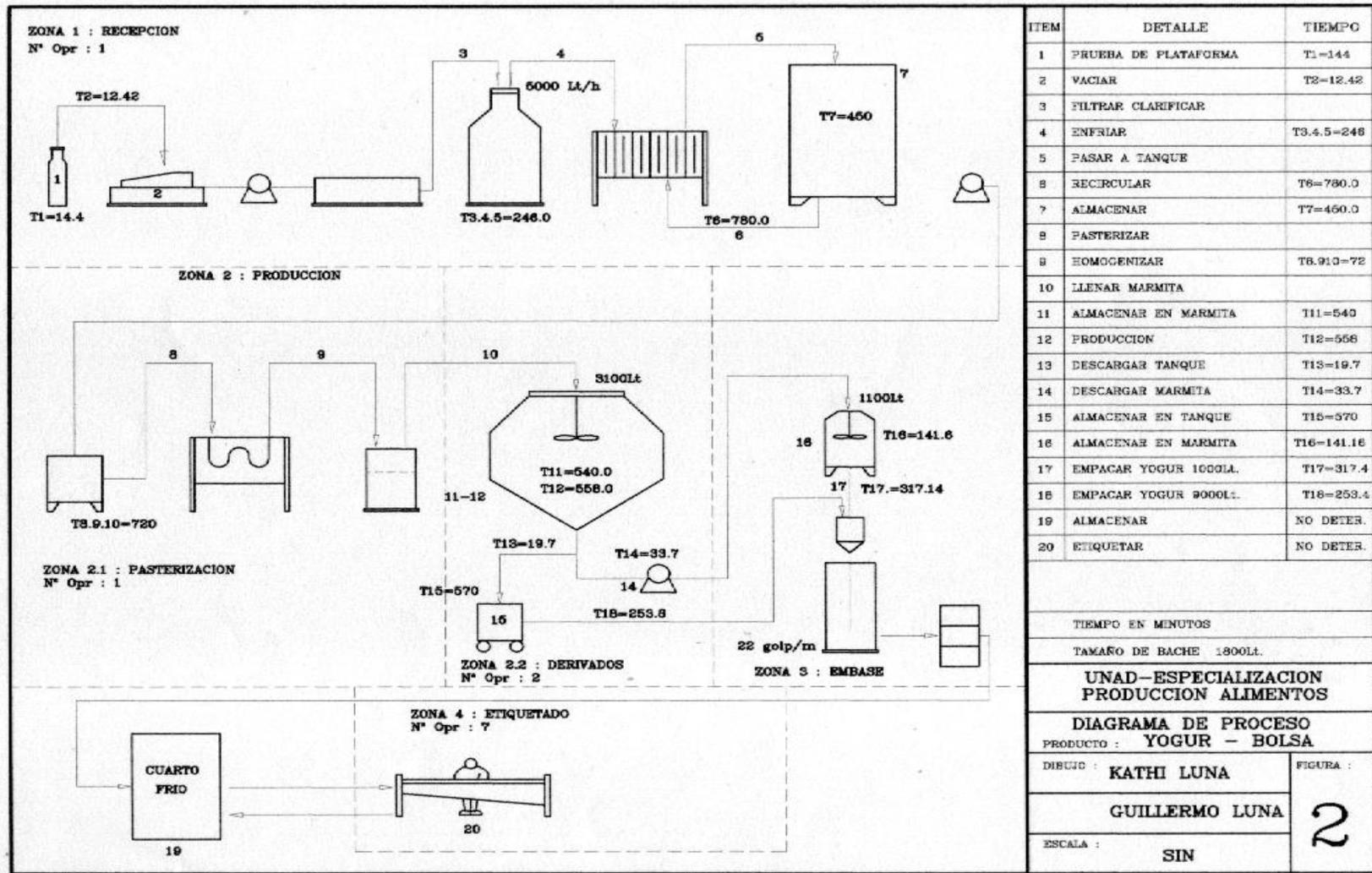
En la Figura 2 se describe a través del diagrama general de flujo el proceso de la elaboración del yogur bolsa marca COLACTEOS para sus diversas presentaciones. El producto está posicionado en el mercado y por lo tanto tiene aceptación de el consumidor por lo cual nos concentramos en la parte de obtención del mismo conservando sus características propias.

La Tabla 2 resume la pautas de elaboración del yogur bolsa el cual es el objeto de nuestro estudio. La producción diaria se efectúa en baches empleando la pasterización lenta en 5 Marmitas o Reactores cuyas características se observan en la tabla 2 las cuales varían entre si, la capacidad de producción actual es de 10.200 litros en 24 horas.

Existen tres clases de yogur que maneja la Planta, primera es el yogur base o yogur natural, a la cual no se le añade ningún tipo de sabor y se lo empaca junto con un cereal, la segunda es el yogur con fruta y la tercera es el yogur que se empaca en bolsa, este no tiene fruta por lo tanto es más fluido, y gracias a esta característica, es posible empacarlo en bolsas.

1.3 EVALUACIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DEL YOGUR

Al efectuar una investigación sobre los datos reportados de viscosidad en el yogur COLACTEOS, se encontró con sorpresa que no existe tal información, evaluando las causas se encontró que no hay conciencia sobre el valor de dicha información y que la Empresa no tenía la infraestructura adecuada para las pruebas reológicas, contando solamente con un viscosímetro de tubo en desuso.



ITEM	DETALLE	TIEMPO
1	PRUEBA DE PLATAFORMA	T1=14.4
2	VACIAR	T2=12.42
3	FILTRAR CLARIFICAR	T3.4.5=246.0
4	ENFRIAR	T6=780.0
5	PASAR A TANQUE	T7=460.0
6	RECIRCULAR	T6=780.0
7	ALMACENAR	T7=460.0
8	PASTERIZAR	T8.9.10=720
9	HOMOGENIZAR	T8.9.10=720
10	LLENAR MARMITA	T11=540
11	ALMACENAR EN MARMITA	T11=540
12	PRODUCCION	T12=558
13	DESCARGAR TANQUE	T13=19.7
14	DESCARGAR MARMITA	T14=33.7
15	ALMACENAR EN TANQUE	T15=570
16	ALMACENAR EN MARMITA	T16=141.6
17	EMPACAR YOGUR 1000Ll.	T17=317.4
18	EMPACAR YOGUR 9000Ll.	T18=253.8
19	ALMACENAR	NO DETER.
20	ETIQUETAR	NO DETER.

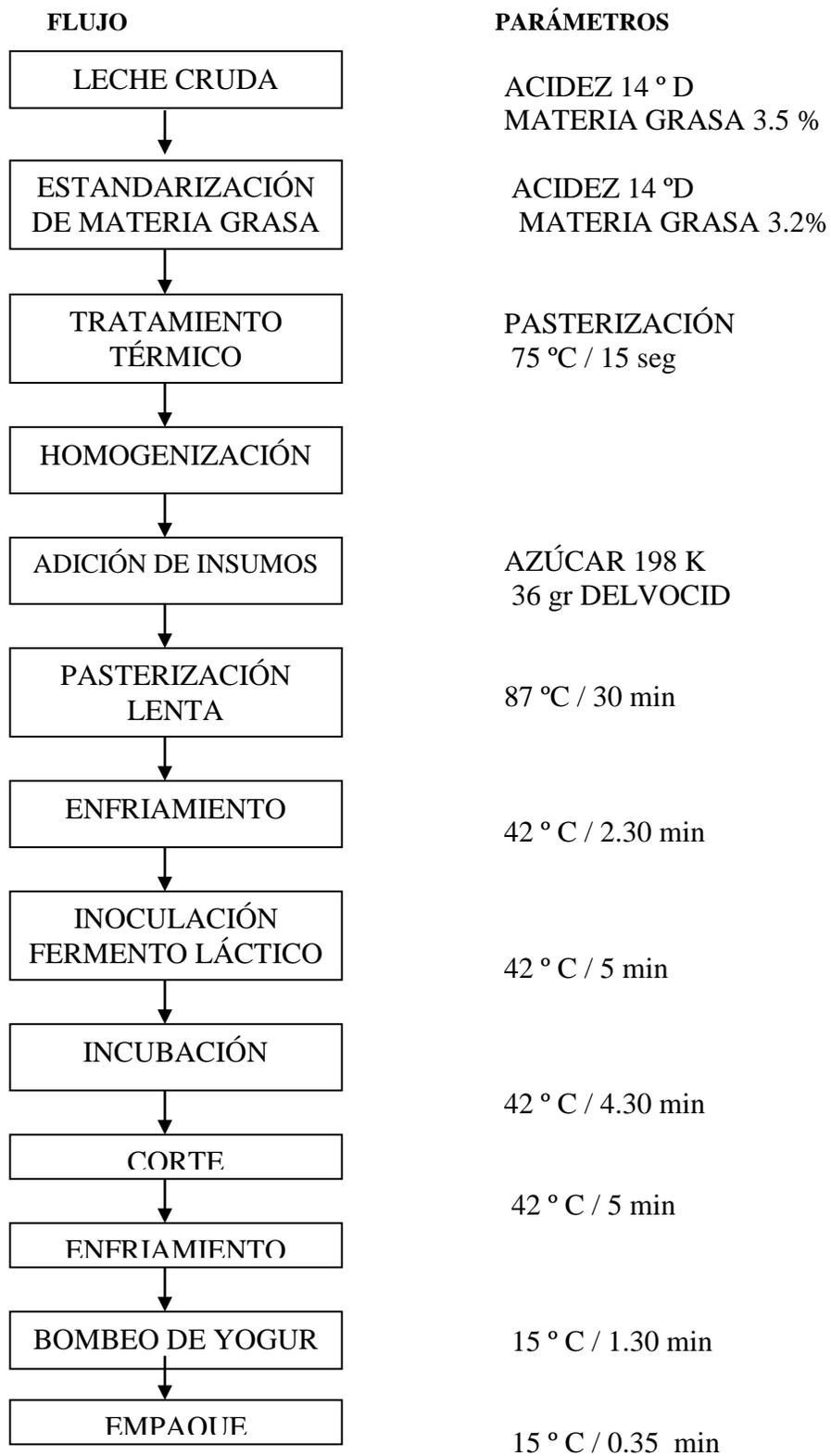


Figura 2b. Diagrama de flujo Yogur bolsa Cooperativa de productos Lácteos de Nariño

**Tabla 2. Pautas de elaboración de yogur bolsa
Cooperativa de Productos Lácteos de Nariño
Área técnica**

HORA	MATERIA PRIMA INSUMO OPERACIÓN PARÁMETRO	CANTIDAD	TEMPERATURA ° C REAL ESPERADO	TIEMPO	ACIDEZ ESPERAD A
0:00	Leche pasteurizada Materia grasa Sólidos totales	1800 L 3.2% 12.3%	6 °C		14 °D
0:15	Adición de insumos Azúcar Delvocid Leche en polvo	198k 36gr según estandarizacion	15 °C	15 min	14 °D
1:15	Pasteurización Lenta		87 °C	1.5 hr	14 °D
2:15	Enfriamiento		42 °C	2.5 hr	14 °D
2:20	Inoculación Fermento láctico	15 unid	42 °C	4 hr	14 °D
7:20	Incubación		42 °C	4.5 hr	60 °D
7:25	Corte		42 °C	5 min	60 °D
8:55	Enfriamiento		15 °C	1.5 hr	61 °D
9:25	Bambeer yogur bolsa		15 °C	35 min	61 °D
10:25	Bombear		15 °C	1 h	61 °D
PRODUCTO TERMINADO MG = 2.5 % ACIDEZ = 65 °D RENDIMIENTO = 1 Lt. Leche / Lt yogur					

Tomando este instrumento se pretendió efectuar un estudio reológico cuyos resultados se muestran en el *anexo 1* (informe de reología, laboratorio de viscosidad). De esta experiencia se pudo hacer las siguientes apreciaciones:

1.3.1 El laboratorio de control de calidad no tiene implementado pruebas de viscosidad para ninguno de los productos.

1.3.2 Se cuenta con un Viscosímetro de tubo rudimentario el cual es de uso dispendioso e impreciso, por lo cual no se usa.

1.3.3 En el momento de efectuar las pruebas se observó que la densidad del yogur usado como muestra era diferente para cada uno de los ensayos, a pesar de mantener las mismas condiciones en cada uno de ellos variando únicamente el origen de la muestra, la cual se obtenía de diferentes baches. Esto puso en evidencia la falta de estandarización en la calidad del producto, al investigar las causas se observó lo siguiente:

1.3.3.1 Ausencia de un procedimiento estándar. Falta de control detallado de los parámetros de proceso y su documentación.

1.3.3.2 Los equipos en los que se procesa no cuentan con controles adecuados.

1.3.3.3 Los equipos son de diversas características generando diversas condiciones de proceso.

1.3.3.4 No existe ninguna caracterización reológica de este producto.

1.3.3.5 Todo lo anterior justifica este estudio y la implementación de una metodología y un programa para subsanar las fallas detectadas.

2. DISEÑO DEL EQUIPO (PRUEBAS PILOTO) PARA LA DETERMINACIÓN DE LA VISCOSIDAD EN EL YOGUR

2.1 OBJETIVOS

Determinar el diseño detallado de un reactor a escala para obtener parámetros precisos encaminados a facilitar su construcción exitosa, con el fin de efectuar posteriormente pruebas piloto en el reactor construido, simulando los procesos de fermentación de yogur marca Colácteos, para determinar un comportamiento reológico Estándar y permitir con ello la implantación de las pruebas de calidad para evaluar los cultivos empleados como fermentos, dotando al equipo de un sistema que permita la medición confiable y rápida de la viscosidad del yogur como producto terminado bajo condiciones controladas, para implementar la medición rutinaria de la viscosidad como parámetro de control de calidad.

2.2 BASES TEÓRICAS

Bibliográficamente el tema que se maneja en este trabajo presenta las siguientes limitaciones:

La primera es que los estudios reológicos aplicados a alimentos no son amplios, son poco comunes y poco divulgados .

La segunda limitante es que la información sobre los viscosímetros es limitada y la existente se limita a someras descripciones;

La tercera limitante es que en nuestro medio (Nariño) estos temas no son manejados.

Lo anterior no significa que los estudios reológicos en alimentos sean inútiles, por el contrario nos proponemos demostrar su valioso aporte.

Por todo esto el tema nos obliga a tratarlo de una forma no tradicional, buscando apoyos en expertos en el tema con los cuales se establece un marco teórico proporcionado por cuatro textos de buena profundidad y actualización, en la Reología aplicada alimentos, los cuales son referenciados en la bibliografía.

Para el tema tratado en este numeral nos basamos en : *capítulo 2 de la guía de aprendizaje*, y el *capítulo 2 del libro Rheological methods in food proces*

engineering, de los que se efectuó el siguiente análisis para seleccionar el viscosímetro apropiado para nuestro estudio:

2.2.1 Descripción del tipo de instrumentos reológicos comunes

En la figura 3, se resume los tipos de instrumentos más comunes divididos en dos categorías generales:

Rotacional y tipo tubo.

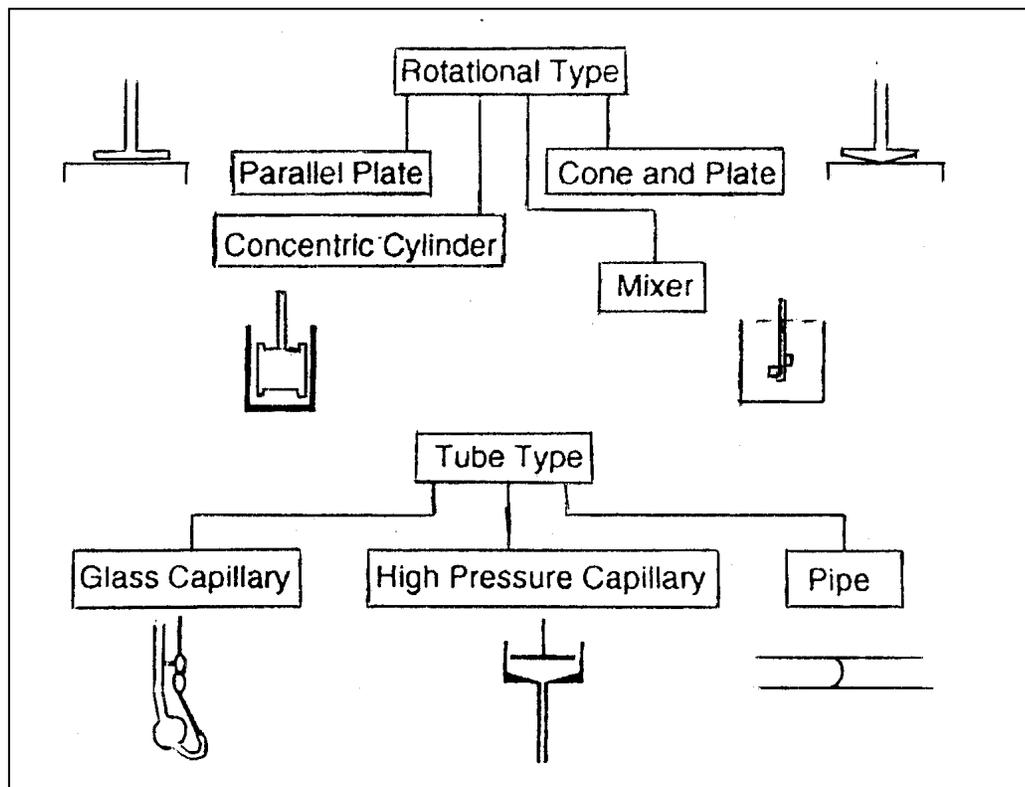


Figura 3. Instrumentos reológicos comunes divididos en las dos categorías generales: Rotacional y tipo tubo.

Los instrumentos rotacionales se subdividen a su vez según su forma de operación en:

- Equipos operados controlando la velocidad angular
- Equipos operados de modo oscilatorio.

De la figura 3 se observa que los viscosímetros de tipo rotacional se subdividen en:

- viscosímetro de platos paralelos
- cilindros concéntricos
- mezcladores
- cono y plato

Las características de aplicación son las siguientes:

- Son extremadamente costosos, y son generalmente usados para investigar comportamientos de materiales que dependen del tiempo.
- Las pruebas oscilatorias se usan para la determinación de los comportamientos visco elásticos de alimentos.
- Los sistemas de cono y plato son limitados a moderadas tasas de corte por que los ángulos son pequeños.
- Los problemas asociados con errores y degradaciones en materiales con estructura sensible son minimizados con el viscosímetro de mezcla.
- Los viscosímetros de tubería y mezcla pueden manejar grandes partículas más que los de cono y plato o platos paralelos, son de fácil fabricación.

Los viscosímetros tipo tubo se subdividen en:

- De tubo capilar
- Capilar a alta presión
- De tubería

Algunas de sus características son:

- Los capilares operados por gravedad, son únicamente empleados para fluidos Newtonianos por causa de la variación en la tasa de corte durante la descarga. (económicos).
- Los equipos capilares de alta presión operan a altas tasas de corte pero generalmente compromete un significativo corrección en la presión final.
- Los viscosímetros de tubería pueden ser construidos para los rigores de la producción o desarrollar de una planta piloto.

2.2.2 Selección del tipo de viscosímetro

Analizando el numeral anterior se concluye que de los dos tipos generales de viscosímetro el de mayores posibilidades de construcción y aplicación son los del tipo tubo.

En el laboratorio efectuado como práctica en la materia de Reología (Ver anexo 1) en el transcurso de la especialización que estamos cursando, se pudo experimentar con un viscosímetro de tubo capilar por gravedad esto nos permite tener varios parámetros que nos facilitan la selección; esta evaluación se describe a continuación:

Se selecciona como equipo adecuado para efectuar las pruebas ***El Viscosímetro de Tubería***, por las siguientes razones:

1. El Yogur Colácteos, al evaluar su viscosidad en ensayos preliminares efectuados en el laboratorio referenciado, a pesar de hacerse en un viscosímetro poco adecuado y exacto, demostró tener un comportamiento de fluido No Newtoniano cuyo modelo matemático se ajusta a la ley de potencia.
2. El Yogur Colácteos tiene dos consistencias:
 - El de presentación en bolsa: Más fluido y sin fruta
 - El de presentación en vaso y garrafa: más viscoso y con trozos de fruta.
 - La viscosidad varia en forma notoria al variar las condiciones físicas como temperatura y agitación.
3. El equipo debe resistir el uso constante, ya que se efectuarán pruebas rutinarias en el control diario de calidad.
4. Debe ajustarse la equipo “Reactor Piloto” para simulación de proceso de fermentación.
5. Debe dar confiabilidad al realizar las pruebas reológicas.
6. Versatilidad.

2.3 DESCRIPCIÓN DEL VISCOSÍMETRO DE TUBERÍA.

2.3.1 Descripción del Equipo

Los viscosímetros de tubería son construidos en el sitio, algunos pueden ser pequeños con 7 mm de diámetro hasta de 12 mm, los valores entre 12 – 32 mm no son comunes en aplicaciones de alimentos, valores L / D en viscosímetros de tubo tienen rangos de 2 – 100, los valores pequeños son definidos en las unidades capilares, raramente se ven en sistema de tubería.

Una bomba o sistema de gas puede usarse para incrementar:

La fuerza de operación del viscosímetro de tubo. Datos no tabulados de pérdida de presión se tienen para flujos en viscosímetros de tubo. La pérdida de presión es determinada por transductores de presión.

La variación de flujo volumétrico puede determinarse desde el flujo másico, midiendo la variación de flujo en la tubería o pesando el tanque.

La densidad es requerida para este cálculo por que la variación del flujo volumétrico es igual al flujo másico dividido por la densidad. Ver figura 3.

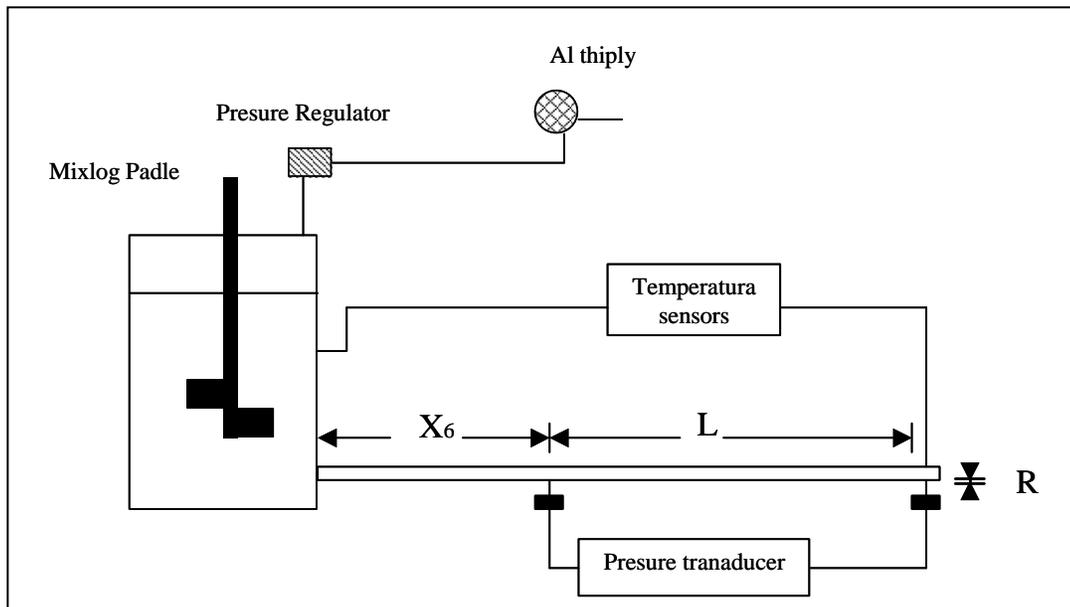


Figura 4. Gas driven pipe viscometer.

2.3.2 Descripción del Método de medida y de los parámetros

Tomando como referencia la guía de aprendizaje de Reología en el numeral 2.1.6 (ejemplos de aplicación), caso (2), en este caso se emplea un viscosímetro de conducto variando longitudes y diámetros para el estudio de sacarosa en miel, al observar esto se concluye:

1. Los datos primarios a obtener son:

- Caída de Presión ΔP : $\frac{P}{Q}$
- Flujo volumétrico : $V = \frac{Q}{\pi R^2}$

donde:

Q = Flujo volumétrico

R = radio de tubo

V = Velocidad promedio de flujo

2. Los valores de esfuerzo cortante en la pared para el flujo se calcula:

$$\sigma_w = \frac{\Delta P D}{4 L}$$

Los gradientes de velocidad aparente en la pared:

$$\gamma_a = \frac{8 V}{D}$$

Donde : D = diámetro del tubo

L = Longitud del tubo

3. Se procede a graficar : γ_w Vs γ_a y se ajusta a un modelo matemático

4. Se debe trabajar con tubos largos y de mayor diámetro para reducir los efectos de pérdida de presión adicional debida a la entrada del tubo, a la salida del tubo y a la salida de la energía cinética y a los efectos de deslizamiento en la pared, ya que debido a la migración de partículas alejándose de la pared del tubo se obtiene un flujo mayor que el que se obtendría si no existiera deslizamiento siendo este efecto mas pronunciado en tubos pequeños.

Las relaciones de referencia tomadas fueron:

Tubo	D mm	L mm	L / D
1L	10.15	405	39.9
1M	10.14	300	29.58
1J	10.18	204	20.03
2L	12.55	400	31.872
3L	17.04	401	23.53 *
3M	17.05	300	17.595
3J	17.07	204	11.95

Como la relación $2 < L / D < 100$; y el diámetro y la longitud deben ser los mayores:

Entonces se debe tomar diámetros del orden de 17.04 mm o sea diámetro nominal:

3 / 4 " y 41 cm de longitud.

2.4 CALCULO DEL REACTOR

En el mejoramiento continuo de los procesos es importante conocer la caracterización reológica del producto y los parámetros que la afectan, por esta razón es indispensable tener a disposición un viscosímetro que permita mediciones prácticas fáciles y precisas, pero este instrumento por sí solo no cumplirá su objetivo, ya que el estudio requiere la simulación de situaciones que representen las condiciones reales de operación, por esta razón es indispensable dotar de un reactor en lo posible a escala, en el cual se podrá copiar el proceso, sin tener que arriesgar altas cantidades de materia prima y sin perder el control de las variables que afectan al mismo; en esta sección nos concentramos en los cálculos de dicho reactor.

El reactor se diseña con el fin de replicar las condiciones que se presentan en los procesos reales y abarcan tres aspectos.

- El volumen a procesar
- La transferencia de calor, similar a la observada en el proceso real y controlable.
- El sistema de agitación proporcione las mismas condiciones.

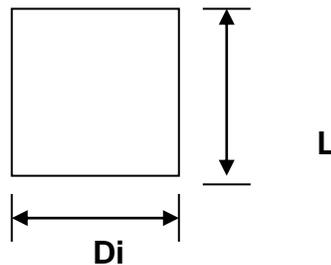
2.4.1 El volumen a procesar

De los diferentes procedimientos que existen para replicar un proceso a escala, tomamos el procedimiento de las relaciones geométricas debido a que este es un procedimiento sencillo y con una buena aproximación.

En nuestro caso, existen diferentes reactores con geometrías diversas, estos se muestran en la tabla 3

Tabla 3. Geometrías de los Reactores.

Volumen Lts	Capacidad Lts	Diámetro (D) Interno cm	Altura (h) cm	Velocidad Rev/min	L / D
558	400	92	84	30	0.91
3000	1800	238	108	30	0.453
2762	2000	143	172	46	1.2
2167	1500	148	126	30	0.85
1265	1000	114	124	20	1.117
1736	1500	121	151	Variable	1.24



Tomamos como reactor promedio el de capacidad 1500 lit y aplicamos una escala de

1 : 100 Por lo tanto

CAPACIDAD : 15 LTS

L / D : 0.91 – 1.24

Entonces:

$$V = \pi r^2 L \rightarrow 15000 \text{ cmt}^3 = \pi r^2 L$$

$$\text{Como } L/D = 1.24 \rightarrow L = 1.24 (2) (r)$$

$$15000 \text{ cmt}^3 = \pi (r^2) (1.24 * 2 * r)$$

$$. r^3 = \frac{15000}{7.79} = 1925.54$$

$$. r = 12.44 \rightarrow D = 25 \text{ cm}$$

$$L = 1.24 * 25 = 31 \text{ cm}$$

2.4.2 Cálculo de transferencia de calor del reactor

Balance de energía

$$\dot{m}_h C_{ph} dT_h = \pm \dot{m}_c C_{pc} dT_c = U dA (T_h - T_e)$$

Los subíndices : h = caliente, c = frío

Donde : C_p = calor específico = Btu / Lbm ° F

$$C_p \text{ leche} = 0.93 \text{ Btu/ Lb}^\circ\text{F}$$

Donde:

\dot{m} = flujo másico : lbr / hr

$$\rho = \frac{\dot{m}}{v} \quad \dot{m} = \rho * v \rightarrow \text{Volumen} = \frac{15 \text{ lit } 1000 \text{ cm}^3 * 1 \text{ m}^3}{1 \text{ lt} * 100^3 \text{ cm}^3} = 0.015 \text{ mts}^3$$

$$\rho = 1055 \frac{\text{kg}}{\text{mt}^3} * \frac{2.2 \text{ lbs}}{1 \text{ kg}} * \frac{1 \text{ mts}^3}{(30.48)^3 \text{ pie}^3} = 0.0819 \frac{\text{lbrs}}{\text{pie}^3}$$

$$\dot{m} = 0.015 \frac{\text{mt}^3}{\text{hr}} * 0.0819 \frac{\text{lbr}}{\text{pie}^3} * \frac{(30.48)^3 \text{ pie}^3}{\text{mtr}^3}$$

$$\dot{m} = 34.787 \text{ lbr / hr}$$

Donde : T = temperatura en ° F

$$\Delta T = \frac{\Delta T_a - \Delta T_b}{\ln(\Delta T_a / \Delta T_b)}$$

Las condiciones de trabajo de los reactores que se desea copiar a escala se muestran en la Figura 5:

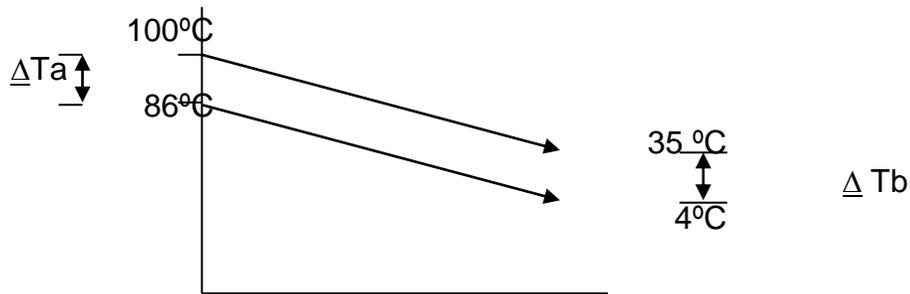


Figura 5. Condiciones de trabajo de los reactores

$$MLTD = \frac{\Delta T}{\ln \left(\frac{\Delta T_a}{\Delta T_b} \right)} = \frac{100 - 86}{\ln \left(\frac{100 - 86}{35 - 4} \right)} = \frac{14}{\ln \left(\frac{14}{31} \right)} = -17$$

$$MLTD = 21.3855 \text{ } ^\circ\text{C} = 70.5 \text{ } ^\circ\text{F}$$

U = Coeficiente total de transferencia tomado de la tabla (11.2) (Keith, Principios de transferencia de calor, Herrero hermanos, sucesores S.A, México 1970).

U para equipos calentadores con tanque de almacenamiento de vapor de agua – agua es de 175 – 300 BTU / hpie² ° F

Entonces :

$$. q = m_c C_{pc} (T_{c \text{ salida}} - T_{c \text{ entrada}})$$

$$. q = 34.787 \text{ lbr / hr} * 0.93 \text{ Btu/ lb } ^\circ\text{F} (186.8 \text{ } ^\circ\text{F} - 39.2 \text{ } ^\circ\text{F})$$

$$. q = 4775.1449 \text{ Btu / hr}$$

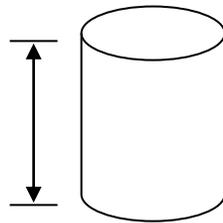
$$. q = UA\bar{\Delta T} \rightarrow 175 \text{ Btu / hpie}^2 \text{ } ^\circ\text{F} * (A) (70.5 \text{ } ^\circ\text{F}) = 4775.1419 \text{ Btu/hr}$$

$$A = \frac{4775.1419 \text{ Btu /hr}}{12337.5 \text{ Btu/hpie}^2} = 0.387 \text{ pie}^2$$

$$A = 0.39 \frac{\text{pie}^2}{\text{Pie}} * \frac{12 \text{ pul}}{\text{pul}} * \frac{2.54 \text{ cm}}{100 \text{ cm}} * 1 \text{ mt} = 0.39 \frac{\text{pie}^2}{\text{pie}^2} * 0.3048 \text{ mt}^2$$

$$A = 0.0362 \text{ mt}^2 * \frac{100 \text{ cm}^2}{1 \text{ mt}^2} = 362.32 \text{ cm}^2$$

Entonces la superficie de transferencia térmica del reactor es :



$$A = 2 \pi r * L$$

$$363 = 2 \pi (12.5) * L$$

$$L = 4.621 \text{ cm}$$

Como L del reactor es 31 cm esto garantiza que hay transferencia térmica por lo tanto la geometría propuesta cumple con lo requerido térmicamente.

2.4.3. Cálculo de la cantidad de vapor requerido

El vapor al condensarse entrega 878.5 Btu /lbm esto se calcula de la Δs de entalpias a 120 psi de vapor.

Como se requiere 4775 Btu / hr / 878.5 Btu / lbm

Se requiere : $5.5 \text{ lbm} / \text{hr} = \dot{m}$

$$\dot{V} = 1.21 \frac{\text{lbm}}{\text{Hr}} \frac{\text{pie}^3}{\text{lbm}}$$

Como la caldera genera 1725 lb / hr y la tubería de salida es de 4 " se calcula :

$$Q / A = V ; A_T = \pi r^2 = \pi (5.08)^2 \text{ cm}^2$$

$$A_T = 81 \text{ cm}^2 * \frac{1 \text{ pul}^2}{(2.54)^2 \text{cm}} * \frac{\text{pie}^2}{(12)^2 \text{pul}^2}$$

$$A_T = 0.087 \text{ pie}^2$$

$V_{fg} = 0.22 \text{ pie}^3 / \text{lbm}$ de las tablas termodinámicas de vapor saturado a 120 psi $V_{fg} = 0.22 \text{ pie}^3 / \text{lbm}$

$$V = \frac{1}{\rho} \rightarrow \rho = 4.54 \text{ lbm/ pie}^3 \text{ Como } Q = \frac{1725 \text{ lbr pie}^3}{4.54 \text{ hr lbr}}$$

$$Q = 380 \text{ pie}^3 / \text{hr}$$

$$\text{Velocidad } V = Q / A = \frac{380 \text{ pie}^3}{0.087 \text{ hr pie}^2} = 4367.8 \text{ pie} / \text{hr} = 2.38 \text{ mts} / \text{seg}$$

Entonces : por un tubo de ½ pulgadas a una velocidad de 4368 pies/ hr (2.38 mts/seg) para:

$$Q = U A ; A = \pi (1 / 4)^2 \rightarrow A = 0.19 \text{ pul}^2$$

$$Q = 4368 \frac{\text{pies}}{\text{Hr}} * \frac{0.19 \text{ pulg}^2}{(12)^2 \text{ pulg}^2} (1 \text{ pie}^2)$$

$$Q = 5.76 \text{ pies}^3 / \text{hr}$$

$$Q = \dot{m} = \dot{V} \rho ; \rho = \frac{m}{V}$$

$$\dot{m} = 5.76 \frac{\text{pie}^3}{\text{hr}} * 4.54 \frac{\text{lbm}}{\text{pie}^3}$$

$$\dot{m} = 26.15 \text{ lbm} / \text{hr} > 5.5 \text{ lbm} / \text{hr}$$

Si se monta una tubería de $\phi = 1/4$ " se obtiene: $A = \pi (1/8)^2 = 0.04908 \text{ pul}^2$

$$Q = U A \rightarrow Q = 4368 \text{ pie/ hr} * \frac{0.04908 \text{ pul}^2}{(12)^2 \text{ pulg}^2} (1 \text{ pie}^2)$$

$$Q = 1.48876 \text{ pie}^3 / \text{hr}$$

$$\dot{m} = \dot{V} \rho \rightarrow 1.48876 \text{ pie}^3 / \text{hr} * 4.54 \text{ lbm} / \text{pie}^3 = 6.758 \text{ lbm} / \text{hr}$$

como el caudal que pasa es 6.758 lbm / hr y > que 5.5 lbm / hr se puede emplear la tubería de ¼ " de ϕ , para simular el mismo suministro de vapor.

Por lo tanto se toma como tubería de alimentación la tubería de $\Phi 1/2$ " y se restringe al 50% en caso de simular el trabajo de los fermentadores.

2.4.4 Cálculo del sistema de mezclado

2.4.4.1 Selección del tipo de flujo

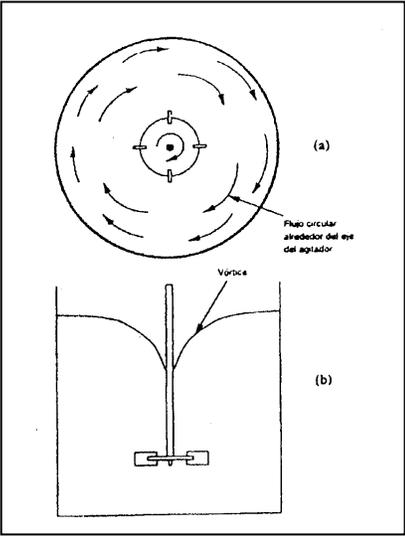


Figura 6. Flujo circular en un tanque sin deflectores, tomada de la figura 7.17, Pág. 149 Principios de ingeniería de los bioprocesos, Pauline M. Doran.

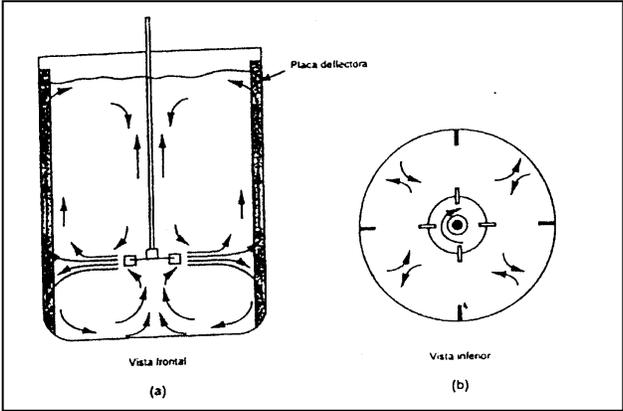


Figura 6a. En tanque con deflectores rodete de flujo radial, Pág. 150.

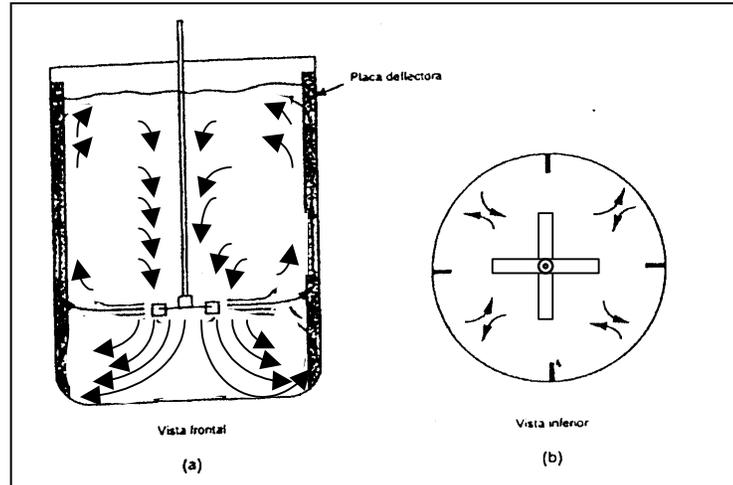


Figura 6b. En tanque con deflectores y rodete de flujo axial.

Para el proceso de fermentación de yogur y obtención de mezcla homogénea de yogur, requiere una selección y el tipo de flujo seleccionado es el tipo C, ya que este ofrece una mejor mezcla y mejor transferencia térmica, basados en el análisis efectuado en Bioprocesos de Pauline M. Doran

2.4.4.2 Selección Tipo de Rodete

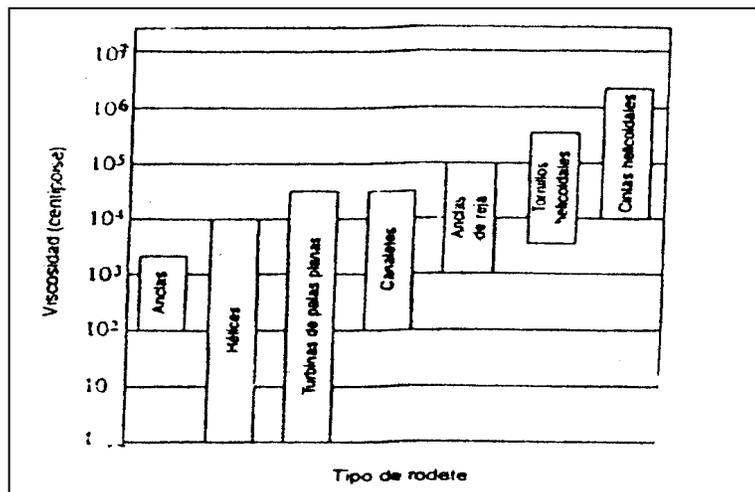


Figura 7. Según la tabla de selección de la Figura 7, el tipo de rodete seleccionado es el de hélice o de turbina de Patas Inclinadas.

2.4.4.3 Relaciones geométricas

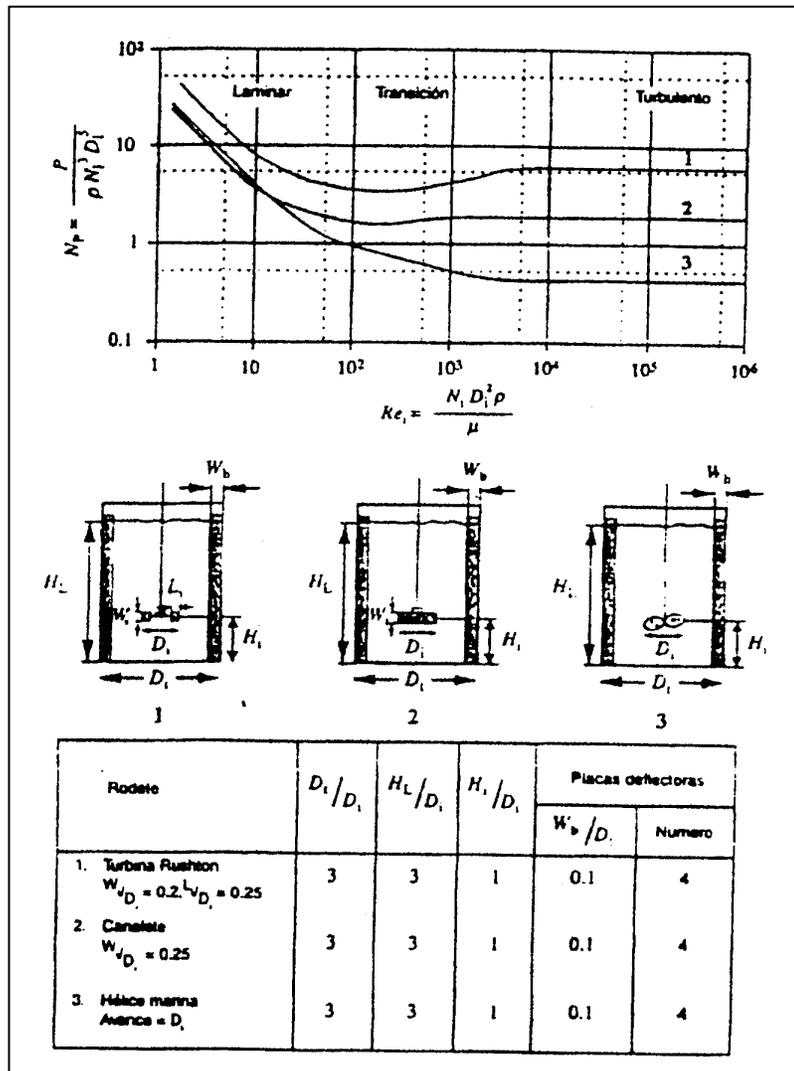


Figura 8. Relaciones geométricas

Figura (7.24) Pág. 156

Se obtiene que para una turbina de canaleta inclinadas o hélice se manejan las siguientes relaciones geométricas:

$$\frac{W_i}{D_i} = 0.25$$

$$D_t / D_i = 3 ; H_L / D_i = 3 ; H_i / D_i = 1 ; W_b / D_t = 0.1 , \text{ Número } 4$$

Como $D_t = 25 \text{ cm}$; $D_i = D_t / 3 = 8.33$

$W_i = 0.25 D_i = 0.25 (8.33) = 2 \text{ cm}$

$H_i = 3 D_i \rightarrow 3(8.33) = 25 \text{ cm}$

$H_i = D_i = 8.33 \text{ cm}$

$W_b = 0.1 D_t = 0.1 (25) = 2.5 \text{ cm}$

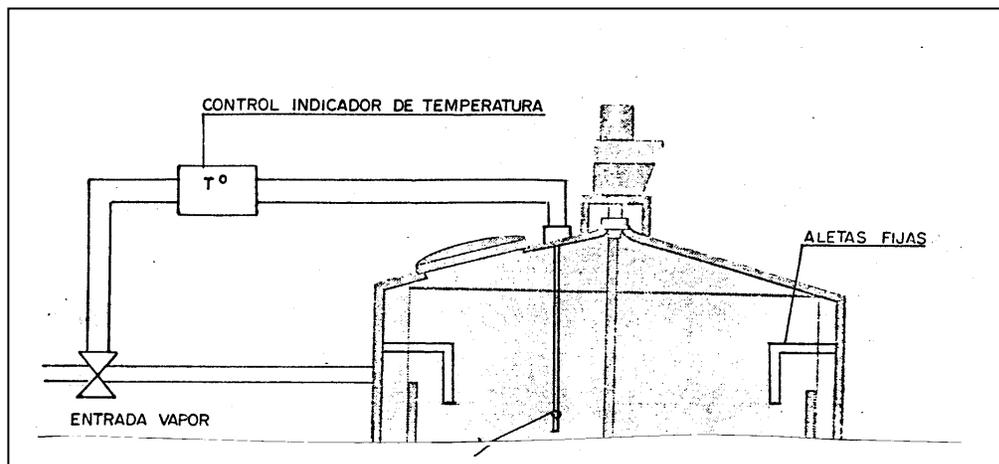
Número de Aspas = 4

2.5 SELECCIÓN DE LOS CONTROLES DEL VISCOSÍMETRO

Los parámetros a controlar para las pruebas de viscosidad del yogur son :

- Temperatura del producto
- Agitación del producto
- Volumen evacuado
- Diferencial de presión a la salida

2.5.1 Control de la Temperatura



Termopozo

FIGURA 9 Diagrama control automático de Temperatura

Ver Anexo 2 : Plano de Equipo Piloto y Viscosímetro de Tubo
El viscosímetro tiene dos válvulas manuales para alimentación;

1. Permite o impide la entrada de vapor para el calentamiento
2. Permite o impide el ingreso de agua helada para enfriamiento.

Se abre una de las válvulas y la electro válvula 4 comandada por el controlador de temperatura # 7, abre o cierra según lo censado por la termocupla 6, de esta forma se obtiene estabilizar la temperatura requerida.

En el ensayo se determina la temperatura de operación y se programa en el set point del controlador, la termocupla le indica al controlador que temperatura existe en el tubo de salida y si requiere mejorar la eficiencia térmica abre la válvula 4, empleando un selenoide que se activa (3), el fluido (agua helada o vapor) fluye a través de la camisa que rodea el recipiente y es evacuado por la válvula 8 fuera del sistema.

Como el rango a controlar oscila desde 1°C hasta 100 °C, el registro y control de temperatura se selecciona para este rango, se tiene en cuenta que la energía eléctrica a suministrar disponible es de 110 voltios.

Examinando los equipos de estas características disponibles en el mercado por costos, calidad y rango, *Anexo 1*, se selecciona el equipo:

- Controlador análogo de temperatura marca Autonics PT – 100, salida por kele (7,3,6) con termoposo y termocupla.
- Una electro válvula de ½ " para vapor (4)
- Válvulas de diámetro ½ " manual para vapor (1,2,8)
- Una válvula de alivio para vapor a 100 psi (9), para protección del equipo por sobre presión.
- Una trampa de condensados de ½ " (10).

2.5.2 Control de la velocidad de agitación

En el reactor se efectuaron los siguientes procesos:

- Simulación de proceso de fermentación de yogur (33 rpm aproximadamente, para corte de coagulos.
- Evaluación de tipo de fermento (5rpm – 30 rpm)
- Mezcla de yogur para obtener una muestra de propiedades homogéneas (temperatura, Viscosidad).
- Encontrar la velocidad más apropiada para cada proceso.

Por lo anterior es imperativo poder variar la velocidad en un rango de 0 – 50 rpm, para esto se empleará un variador electrónico de frecuencia con este se puede obtener, velocidades desde 0 – hasta la velocidad angular del motor.

2.5.3 Cálculo de la Potencia.

Según Pauline M. Doran, en su libro "Principios de Ingeniería de los Bioprocesos" afirma que se requiere para bioreactores pequeños (capacidad 100 lts) 10 Kw/m³, por lo tanto:

Lit	mt ³	Kw
-----	-----------------	----

100	1	10
-----	---	----

15		X
----	--	---

$$X = \frac{15 * 10}{1000} = 0.15 \text{ Kw} * \frac{1000 \text{ w}}{1 \text{ Kw}} * \frac{1 \text{ hp}}{746 \text{ w}} = 0.2 \text{ HP}$$

Por lo tanto se debe buscar un motor de 150 watts o ¼ de HP.

2.6 SELECCIÓN DEL SISTEMA DE MEDICIÓN DEL DIFERENCIAL DE PRESIÓN

Como se observa en el numeral 2.3.2 la caída de presión en el tramo es indispensable para deducir el comportamiento reológico del fluido por lo tanto este parámetro se debe medir en forma precisa.

Dado que las variaciones de presión deben ser bajas, la escala del mismo es baja de 0 a 2.5 pulgadas de agua, aproximadamente de 0 a 0.084 psi, que son los sensores para calcular pérdidas.

2.7 SELECCIÓN DEL DIÁMETRO Y LONGITUD DEL TUBO

Según el numeral 2.3 el diámetro del tubo puede ser de 7 a 12 mm y su relación L / D desde 2 en los capilares hasta 100.

Del caso de aplicación expuesto en la guía de aprendizaje de Reología, y tratada en este estudio en el numeral 2.3, se concluye que el diámetro de ¾ de pulgada y 41 cm de longitud presentan datos más confiables por lo tanto se toma como uno de los parámetros posibles de longitud máxima a utilizar como dúcto de evacuación de la muestra un tubo en acero inoxidable de diámetro ¾ " y 41 cm, analizando la información al respecto, también se encontró que en estudios reológicos realizados por el departamento de ingeniería química de la Universidad de Queensland, se emplearon tubos de diámetros de 18.8 mm, 12.6 mm y 10.2 mm con longitud de 204 mm según esta descrito en el texto Proceeding of Australian society of sugar cane technologists por J.N. NESS pag 195-200.

Es importante anotar que la selección tanto del diámetro como la longitud dependen del fluido a manejar, por lo anterior se selecciona como diámetro inicial de diseño el de ¾" y como longitud del tubo de 204 mm.

2.8 SISTEMA DE PRESIÓN EN EL REACTOR PARA VACIADO DE PRODUCTO

El reactor debe ser hermético, con el fin de evitar fugas de aire y permitir el incremento de presión interna.

Se requiere que el aire sea completamente seco para eliminar el riesgo de contaminación del producto.

La presión que es posible manejar esta en el rango de 0 – 80 psi, esta presión es suficiente para el empuje del producto.

Por lo tanto se empleará una tubería de 8 mm, regulador de 0 – 80 psi, filtro de secado y adaptadores para la instalación de la línea de sobre presión.

Es importante anotar que este sistema es opcional ya que es probable que por gravedad pueda efectuarse las pruebas, pero en yogur con fruta será indispensable la operación del sistema de sobre presión.

2.9 PRESUPUESTO

ITEM	DETALLE	CAN	V/R UNIT.	V/R TOT.
1	Reactor en acero inox * 2 según plano.	1	500.000	500.000
2	Tanque recepción en acero inox 31 cm * altura 20 cm	1	80.000	80.000
3	Válvulas para vapor ½", globo cédula 40	3	60.000	60.000
4	Electro válvula para vapor de ½ pulg.	2	86.000	172.000
5	Trampa termostática de ½ pul.	1	320.000	320.000
6	Motor de ¼ Hp posición vertical con plancie	1	300.000	300.000
7	Agitador de acero inox 4 aspas según plano.	1	100.000	100.000
8	Niples acero inox de ¾ pul para soldar	4	4.100	16.400

ITEM	DETALLE	CAN	V/R UNIT.	V/R TOT.
9	T de acero inox de ¾ pul para soldar	3	2.000	6.000
10	Válvula de ¾ pul acero inox.	1	95.000	95.000
11	Variador de velocidad para ¼ Hp 110 v.	1	500.000	500.000
12	Control de tiempo.	1	80.000	80.000
13	Control de temperatura análogo	1	175.000	175.000
14	Medidor de Presión de agua 0 a 2 pul.	1	480.000	480.000
15	Regulador de presión de 0 - 80 psi de ½ “	1	195.000	195.000
16	Filtro secador de ½ “	1	152.000	152.000
17	Báscula de 0 a 20 kg	1		
18	Montaje y construcción	1		
19	PT 100 + termopozo	1	155.000	155.000
VALOR TOTAL				\$3.206.400 US 1395

2.10 CONSTRUCCIÓN Y PUESTA EN MARCHA

El equipo de ensayos fue construido efectuando el siguiente proceso

2.10.1 Etapa 1. Construcción del reactor

Construcción en acero inoxidable 304, calibre 18 de la camisa interna. (1) en el interior de esta se depositará el producto, por su exterior circulará el vapor de calefacción o el agua helada.

Construcción en acero inoxidable 304, calibre 16 de la camisa externa. (2) usando el sistema de soldadura DIMPLEX; el cual consiste en soldar puntos a tope cada 2 pulgadas , las dos láminas de la camisa externa (2) e interna (1) con el fin de dejar la cámara por donde circulará el vapor y el agua.

Construcción en acero inoxidable 304, calibre 22 de la camisa exterior (3) de aislamiento, entre esta camisa y la camisa externa (2) se inyecta poliuretano de alta densidad con el fin de aislar del exterior la cámara de transferencia térmica.

A la cámara formada entre la camisa (2) y (1) se le instala mediante niples el ducto de entrada del fluido de transferencia en la parte superior y de salida en la parte inferior.

Construcción de la tapa según el diseño, teniendo en cuenta la localización de los orificios para la instalación del agitador, la entrada de aire a presión y el termopozo.

Construcción del agitador según los planos de diseño, este se montó en el motor de 1340 rpm de 0.4 Hp el cual esta conectado al sistema mediante un flanche directo tipo vertical.

Todo el reator es montado sobre 3 patas de 3 / 4 de diámetro en acero inoxidable cédula 40 y amarrados entre ellas mediante soportes transversales.

2.10.2 Etapa 2. Selección y Montaje de los instrumentos de medida.

2.10.2.1 Selección del medidor del diferencial de presión. Una vez montado el ducto de evacuación de la muestra según el plano de diseño, se intentó instalar un medidor de presión pero la disponibilidad de estos para fluidos y para esos rangos tan bajos en el mercado es mala y su costo es del orden de US 2.000, se optó por efectuar las mediciones mediante el uso de manómetros de alta sensibilidad; se montó manómetros prestados de un rango de 0 – 160 milibar , efectuando las primeras descargas de muestra, se observa que el rango era muy alto y se deduce de la observación que es apropiado la aplicación de manómetros cuya escala esta entre 0 – 25 milibar, los cuales fueron adquiridos y montados.

2.10.2.2 Selección de los sistemas de medición de Temperatura y control y registro de velocidad angular. Por la experiencia en el proceso y basados también en el diagrama de flujo se obtuvo:

Un rango de temperatura entre 0 y 100 °C , con una precisión de un grado, por lo cual se seleccionó un registrador de temperatura marca VEMER modelo EV – TR, con termocupla tipo PT 100.

Para controlar y registrar la velocidad angular se tuvo en cuenta que los rangos de operación usados en el proceso varían de 0 – 45 rpm, pero ya que el equipo se empleará para múltiples pruebas se optó por montar un motor de 1400 rpm (0.4 Hp) que estaba disponible con un controlador de velocidad del tipo variador de frecuencia e inversor de giro marca SIEMENS Modelo MIDIMASTER Vector.

2.10.3 Puesta en marcha

Una vez construido el equipo, según se muestra en las fotografías, (anexo 3) se instaló en el lugar de ensayo, efectuando conexiones a las líneas de:

Vapor, reducido a 35 psi mediante una válvula reguladora de caudal, e instalación de una válvula de seguridad de 15 psig.

Aire, con conexión a manguera de 10 mm para presiones de 0 – 50 psi.

Agua Helada, a 2 °C.

Red eléctrica trifásica a 220 voltios , 60 Hertz.

Se efectuaron pruebas hidrostáticas que consistieron en alimentar con vapor a 35 psi a través de la tubería de alimentación y cerrando las válvulas de escape del reactor para observar durante un tiempo no inferior a 3 horas la caída de presión en el sistema , resultado satisfactorio por que no hubo caída de presión, lo que indica que no hubo fuga en el sistema, determinar también si hubo presencia de fugas en el interior del reactor, examinando si existían burbujas en el liquido de prueba con el cual estaba lleno el tanque interno del reactor.

Posteriormente se inyectó vapor a la cámara para observar si se efectuaba calentamiento en el interior del tanque, concluyendo que si era posible efectuar dicho proceso y a la velocidad que se deseara, empleando las válvulas de control de paso del fluido de transferencia térmica, lo cual permite simular cualquier proceso que implique la variación de la temperatura. Esta prueba fue satisfactoria por que se pueden controlar estas variables .Todo el proceso anterior se repitió con agua helada obteniendo los resultados esperados.

Con todo los parámetros anteriores controlados se puso una muestra de agua y se ejecutaron las mediciones de la viscosidad y se pudo establecer los siguientes puntos:

Los manómetros presentan una lectura diferente de presión, después de verificar que su calibración era correcta, en el manómetro dos marca de uno a dos milibar mayor que lo marcado por el manómetro uno (más cercano al tanque del reactor) dependiendo del nivel del tanque, evaluando detenidamente se determinó que esto se debe a que la presión es mayor en el manómetro dos y que incrementa si la distancia entre los manómetros aumenta, al efectuar el flujo de descarga la caída del segundo manómetro superaba con un valor difícil de apreciar a la diferencia que marcaba en un comienzo, por lo que se determino que con una distancia de 140 mm entre

los dos manómetros se observa claramente el efecto de pérdida de presión buscado, tomando la decisión de cambiar este parámetro en aras de obtener mayor precisión en las pruebas. A esta determinación se llegó basados en la observación del método prueba de error cambiando la longitud del tubo y observando el efecto producido en los manómetros al realizar la medición, este método se aplica para calibrar sistemas de este tipo, no se registran datos por que la tarea realizada es una actividad de calibración para que los manómetros registren de una manera adecuada, la otra alternativa teórica es cambiar el rango de los manómetros pero en nuestro caso esto no fue posible por su elevado costo, sacrificando el concepto que la mejor distancia es la de 41 cm, como se había mencionado en el numeral 2.3.2.

2.11 AJUSTES DE ERROR.

Este proceso requiere de la ubicación y operación de un sistema patrón; se puede hacer basado en dos métodos :

. Tomar la viscosidad de un elemento conocido a diferentes temperaturas como el agua y compararlo con una tabla estándar, este método tiene la posibilidad de incurrir en algún error ya que el agua del ensayo tendrá características fisicoquímicas diferentes a las dadas por la muestra usada en la obtención de la tabla estándar, pero de todas maneras nos permite tener una idea de la certeza del equipo. Este fue el ensayo usado. El otro método implica la operación de un viscosímetro patrón lo cual no fue posible en nuestro medio.

Por lo tanto se procedió a tomar un ensayo para verificar la diferencia con los valores patrones, de la siguiente forma:

- Se colocó como muestra agua potable y se la llevó a diferentes temperaturas midiendo para cada caso la viscosidad absoluta siguiendo el método descrito en el capítulo 5, los resultados se enlistan en la *tabla 4*, estos se compararon con la tabla de referencia la cual se describe en el anexo 4. En la penúltima columna se registra la el valor de ajuste el cual es la relación del valor patrón sobre el valor medido, si el método posee una buena exactitud respecto al patrón de referencia el valor es 1, como esto no es así en este caso se observa que existe variación en un rango de 6.6 a 14.2 por lo cual se toma un promedio , este factor es multiplicado por la medida tomada en la práctica y se denomina viscosidad corregida, y en la última columna se observa el valor de error en la medición.
- Lo anterior es una práctica común en metrología.

Es importante observar que la viscosidad absoluta obtenida por el método descrito en este estudio es una viscosidad de referencia que es valida para la caracterización de nuestros procesos, por lo tanto si se desea mejorar la exactitud con referencia a un patrón universal se debe profundizar en el estudio de este numeral.

Tabla 4. Variación de la viscosidad de una sola muestra de agua vs temperatura comparada al valor de la referencia

Nº de muestra	Temperatura	Muestra	Muestra	Tiempo	Caudal	Presión	Presión	Visc media	VISC Referencial/Factor		VISCOSIDAD % ERROR	
	°C	GRS	Probeta GRS	Segun	volumétrico	Promedio	Grmasa/ Cmseg2	poises	POISES	CORRECCION	CORREGIDA	
1	10	2652	328	15	148,3739837	2	20	0,001548688	0,0131	8,458770936	0,01563246	-19,317573
2	6	3067	329	15	162,2807018	1,37	13,7	0,000969941	0,01387	14,29983341	0,009790588	29,41176508
3	16	4648	327	27	150,6424792	1,33	13,3	0,001014369	0,01116	11,00191322	0,010239041	8,252321269
4	27	6246	329	30	187,6024194	2,1	21	0,001264724	0,0065	6,61620603	0,012968006	-52,5647774
PROMEDIO										10.0941809		

Fuente. Presente investigación

3. DIAGNÓSTICO DEL PROCESO DE YOGUR

3.1 DETERMINACIÓN Y EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL PROCESO EFECTUADO ACTUALMENTE EN REACTORES DE 1500 Y 1800 LITROS Y POSTERIORMENTE EN COMPORTAMIENTO REOLÓGICO USANDO EL REACTOR PILOTO

3.1.1 Metodología

Al analizar detenidamente cada uno de los procesos efectuados en planta, haciendo énfasis en el proceso de yogur, se determinó que los estudios se deben concentrar en el yogur para empacar en bolsa dado que este copa un 70 % de la producción.

Se observa que este se obtiene siguiendo el diagrama descrito en el capítulo 1, trabajando un reactor cuya capacidad de producción es de 1800 litros y una velocidad en su agitador de 45 rpm y un reactor cuya capacidad de producción es de 1500 litros y una velocidad en su agitador de 30 rpm; estos se trabajan en turnos de 10 horas manejados por dos operarios en cada turno los cuales elaboran el producto simultáneamente obteniéndose baches de producción de 3300 litros de yogur cada turno.

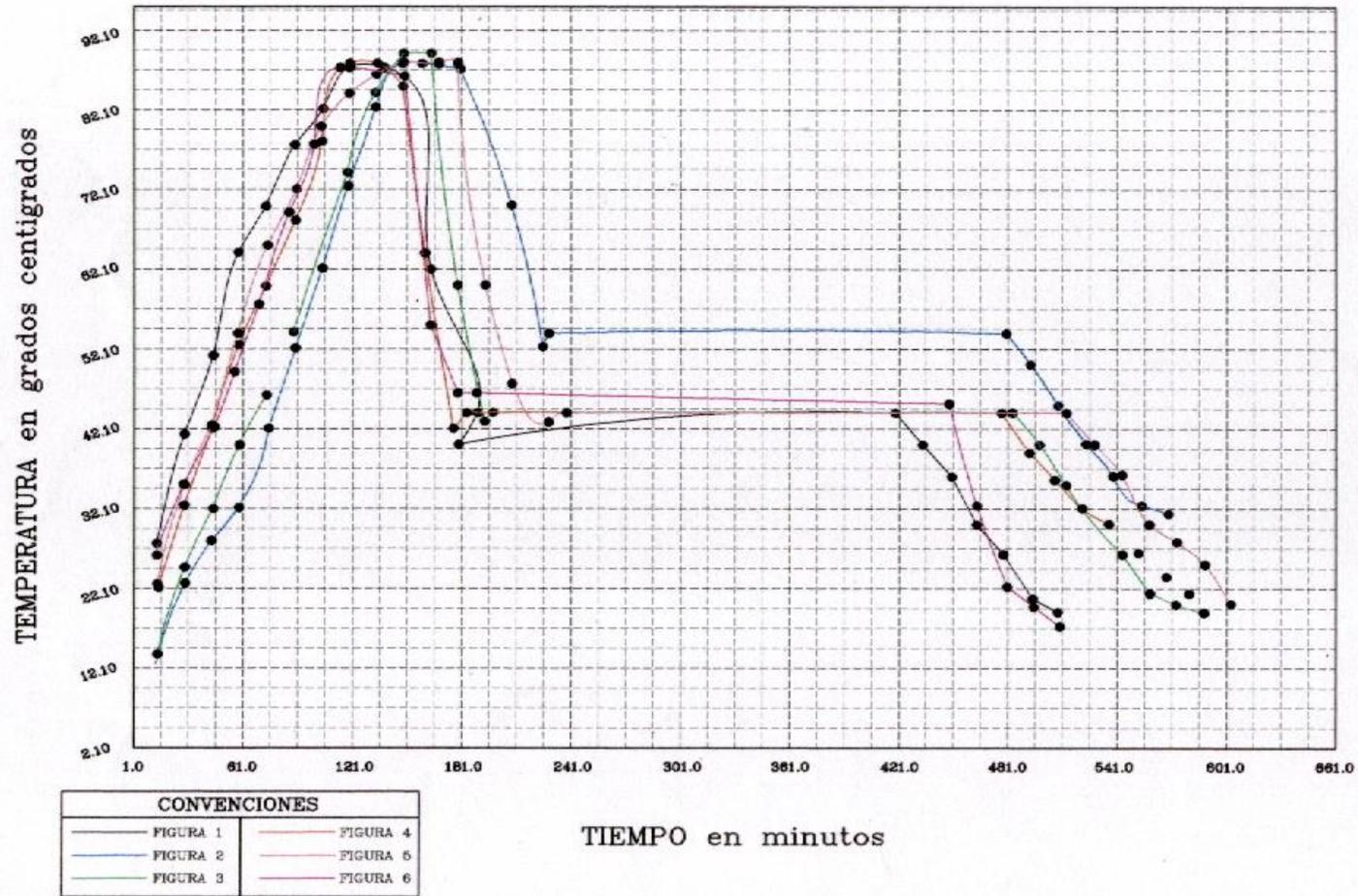
Para determinar en forma clara que pasos se efectuaba en la obtención de cada bache se efectuó un seguimiento de una semana, controlando las temperaturas cada 15 minutos, los resultados depurados se registran en la Figura 10, con el fin de visualizar cada proceso en su ejecución, observando si es o no estandarizado.

Posteriormente se determinó la viscosidad obtenida en el reactor de 1800 litros y de 1500 litros procesando la misma leche y los mismos insumos con el fin de comprobar si existen variaciones en la viscosidad.

3.1.2 Evaluación del comportamiento tiempo – temperatura en los reactores.

De la figura 10 se puede observar: Las relaciones tiempo en minutos eje x, temperatura grados centígrados eje y, hay seis curvas definidas, cada una corresponde a un proceso efectuado en el reactor de 1800 litros, ensayos realizados en las siguientes fechas, Figura 1 en Octubre 14, Figura 2 en Octubre 12, Figura 3 en Octubre 13, todas en el turno nocturno, y de 1500 litros en las siguientes fechas, Figura 4 en Octubre 13, Figura 5 en Octubre

FIGURA 10 COMPORTAMIENTO REACTOR DE 1800 Y 1600 LITS EN PROCESO YOGUR



14. y la figura 6 en Octubre 9 en el horario nocturno. De esta forma nos cercioramos de tomar una muestra representativa de la realidad. Evaluando la gráfica se concluye:

3.1.2.1 En la gráfica se observan 5 etapas:

Etapa 1 : de calentamiento hasta 87 °C alcanzados en un lapso de 100 minutos aproximadamente .

Etapa 2 : de retención a 87 °C durante 30 minutos.

Etapa 3: de Enfriamiento hasta 44 °C durante 30 minutos aproximadamente.

Etapa 4 : de retención a 44 °C para incubación durante un periodo de 4 horas y media

Etapa 5 : de enfriamiento de 44 a 17 °C durante 1 hora aproximadamente.

3.1.2.2 Ninguna corresponde exactamente a otra. Esto muestra claramente que los procesos difieren uno de otro por varios aspectos:

Control manual de temperatura, Toma de Temperatura manual mediante termómetro de carátula en el nivel superior por parte del operario (Muestra imprecisa).

El volumen procesado difiere por lo tanto la eficiencia de transferencia de calor varia.

Las condiciones externas a la sala como el suministro de vapor o de agua fría varían dependiendo del consumo existente en la planta por parte de otros procesos o de las fallas que estas puedan tener.

Los operarios cambian para cada turno y por lo tanto depende de la habilidad y concentración de estos.

No existe pruebas de características reológicas como patrón de control de calidad por lo tanto no existe ningún antecedente al respecto.

3.1.2.3 Las pendientes en la etapa 1 de calentamiento de las gráficas obtenidas de los procesos efectuados en el reactor de 1500 litros son más pronunciadas que las obtenidas en los procesos del reactor de 1800 litros. Teniendo en cuenta que estas gráficas se tomaron cuando no hubo fallas externas, y la manipulación de la alimentación de vapor fue normal se puede concluir que el reactor de 1500 posee mayor transferencia térmica que el de 1800 atribuido probablemente a la menor capacidad volumétrica de la misma.

3.1.2.4 En la etapa 3 de enfriamiento para llegar a los 44°C los reactores presentan una inercia térmica la cual obliga a una operación adicional para recuperar la temperatura de inoculación deseada.

3.1.2.5 En la etapa 4 se observa que las gráficas tienen un comportamiento similar lo que nos permite concluir que esta se esta controlando por tiempo pero esta se debe controlar por la acidificación obtenida al término de esta etapa la cual oscila en 60° Dornic; a pesar que los operarios montan esta prueba en forma obligatoria es extraño este comportamiento ya que los cultivos lácticos no evolucionan en forma idéntica por que el sustrato tiene algunas diferencias debido a la calidad variable de la leche como de los insumos. Este es un punto crítico en el proceso y se ampliará su efecto en los numerales siguientes ya que esto si puede incidir en las características reológicas.

3.1.2.6 En la etapa 5, la pendiente de los procesos efectuados en el reactor de 1800 es menor que en los de 1500 litros, esto se atribuye a que el reactor de 1500 posee mejor transferencia térmica. Este aspecto deberá analizarse detenidamente para saber como puede reducir el tiempo empleado en esta etapa mediante el uso de un intercambiador tubular sin afectar la calidad reológica deseada, como se propone en el capítulo 4.

3.1.3 Determinación de la viscosidad obtenida en un bache de sustrato común en los dos reactores

Siguiendo los pasos descritos en el capítulo 5 para la toma de datos y el procedimiento del cálculo de la viscosidad , se obtienen los datos obtenidos de la tabla 5.

La muestra tomada para realizar esta prueba fue 10 litro de yogur lote 17 Octubre de 2002.

3.1.3.1 Análisis de resultados

Del análisis de la tabla 5 se observa que la viscosidad obtenida para el yogur del lote 17/10/002 tanto en el reactor de 1800 como en el de 1500 litros varían a pesar de mantener algunas condiciones similares; lo que permite pensar que efectivamente las muchas variables que se manejan en este proceso afectan las características reológicas del yogur y que este estudio es de suma importancia para detectar las variables de mayor trascendencia.

**Tabla 5. Cálculo de la Viscosidad Absoluta
Yogur bolsa Colácteos del mismo sustrato en el reactor de 1500 lts. Y
1800 lts.**

Nº de muestra	Muestra	Temperatura	rmp de agitación	Muestra	Muestra Probeta	Tiempo	Caudal	Presión	Presión	Viscosidad	Viscosidad
		La Muestra °C	Corte coágulo	Grs	Probeta Grs	Segundos	Cm3/seg	Promedio mlb	Grmasa/cm²seg²	Medida poises	Corregida poises
1	17/10/002-1800	20°C	45 rmp	3432	345	58.4	46.9205046	2.875	28.75	0.007039908	0.07039907
2	17/10/002-1800	19°C	45 rmp	2336	334	25.8	67.3110664	4.375	43.75	0.00746764	0.07467640
3	17/10/002-1500	22°C	43 rmp	4956	348	46.8	89.544487	2.7	27	0.003464327	0.03464326
4	17/10/002-1500	21°C	43 rmp	2470	348	33.2	53.38474.52	3.5	35	0.007532561	0.07532561

Fuente. Presente investigación

Es importante notar que el dato mostrado en la columna 11 fila 4 difiere notablemente, esto obedece a que la variable tiempo no fue tomada con precisión; este tipo de experiencias obtenidas en los ensayos se subrayarán con el fin de ser observadas en el procedimiento de ensayos como en la calibración final del equipo.

3.1.4 Determinación del comportamiento reológico del yogur usando el reactor piloto

Empleando el equipo construido para las pruebas y caracterización reológica se montó la siguiente prueba:

La muestra a analizar son 10 litros de yogur bolsa marca COLACTEOS a 15 °C , fue sometida a varios esfuerzos; esto se logro con la ayuda del sistema de inyección de aire presurizado a la cámara del reactor de prueba, variando la presión para cada simulación y aplicando la teoría expresada en el libro de *Reological Methods in food process engineering*, se obtuvo los resultados resumidos en la tabla 6 y las figuras esfuerzo – deformación 11 y 12; en la primera de estas se aplicó el modelo matemático correspondiente a un fluido newtoniano, con la intención de mostrar que la curva no se ajusta cuando se emplea un modelo matemático inapropiado, esto es posible con el uso del programa de graficación y obtención de modelos matemáticos CURVEX EXPERT; esto es útil en los casos cuando se trabaja con un fluido del cual no se conoce su comportamiento reológico, la ecuación obtenida empleando el modelo matemático errado fue:

$$\mu = \delta * \delta \text{ donde : } \mu = 0.0252 \text{ poises.}$$

error estándar de la aplicación de este modelo es: 1.4

coeficiente de correlación es: 0.874

Se observa que los parámetros estadísticos no satisfacen, por lo cual se busca otro modelo que mejore los mismos, esto se muestra a continuación.

Tabla 6. Determinación del esfuerzo y la deformación para el yogur bolsa Colácteos de la misma muestra sometida a diferentes esfuerzos

Nº de muestra	Muestra	Muestra	Tiempo	Caudal	Presión	Diferencia	Viscosidad	Viscosidad	Deformación	Esfuerzo
	GRS	Probeta Grs	Segundos	Volumétrico	Promedio mlb	Presión grmsasa/c mseg2	poises	Corregida poises		
1	1313	148	7	86.9272237	1.6	16	0.002114735	0.021147351	216.170316	4.57142947
2	1295	148	6.3	93.8903863	2.5	25	0.00305922	0.030592196	0.030592196	7.142858546
3	960	148	6.5	42.3802612	0.5	5	0.001355496	0.0135544958	0.13554958	1.42871709

Fuente: Presente investigación

La figura 12 es la aplicación del modelo matemático de *Herschel Bulkley* y la ecuación es :

$$\delta = \delta_0 + k * \delta^n \text{ donde } \begin{aligned} \delta_0 &= 0.297744 \text{ esfuerzo inicial} \\ k &= 1.777 \text{ índice de consistencia} \\ n &= 2.331 \text{ índice de fluidez} \end{aligned}$$

error estándar de la aplicación de este modelo = 0.00000

coeficiente de correlación de aplicación de este modelo = 1

Se aplicaron otros modelos matemáticos pero no presentaron consistencia y al observar los índices estadísticos se asegura que el modelo matemático que describe el comportamiento reológico de este fluido que es **no newtoniano** es el de *Herschel Bulkley* .

3.2 SIMULACIÓN DE PROCESOS PARA DETERMINAR LAS VARIABLES SIGNIFICATIVAS CON EL FIN DE ESTANDARIZAR EL PRODUCTO

En este numeral se resumen todos los ensayos efectuados en el equipo piloto simulando o imitando las condiciones que se observan en los procesos de producción aplicados actualmente en la planta; las variables físicas que se observaron fueron las que por la experiencia y los fundamentos teóricos muestran como significativas; la metodología empleada referente a la determinación de la viscosidad esta descrita en el numeral 5.1 y las pautas tomadas para cada ensayo se describirán a continuación.

FIGURA 11 ESFUERZO DEFORMACION PARA YOGUR COLACTEOS - MODELO NEWTONIANO

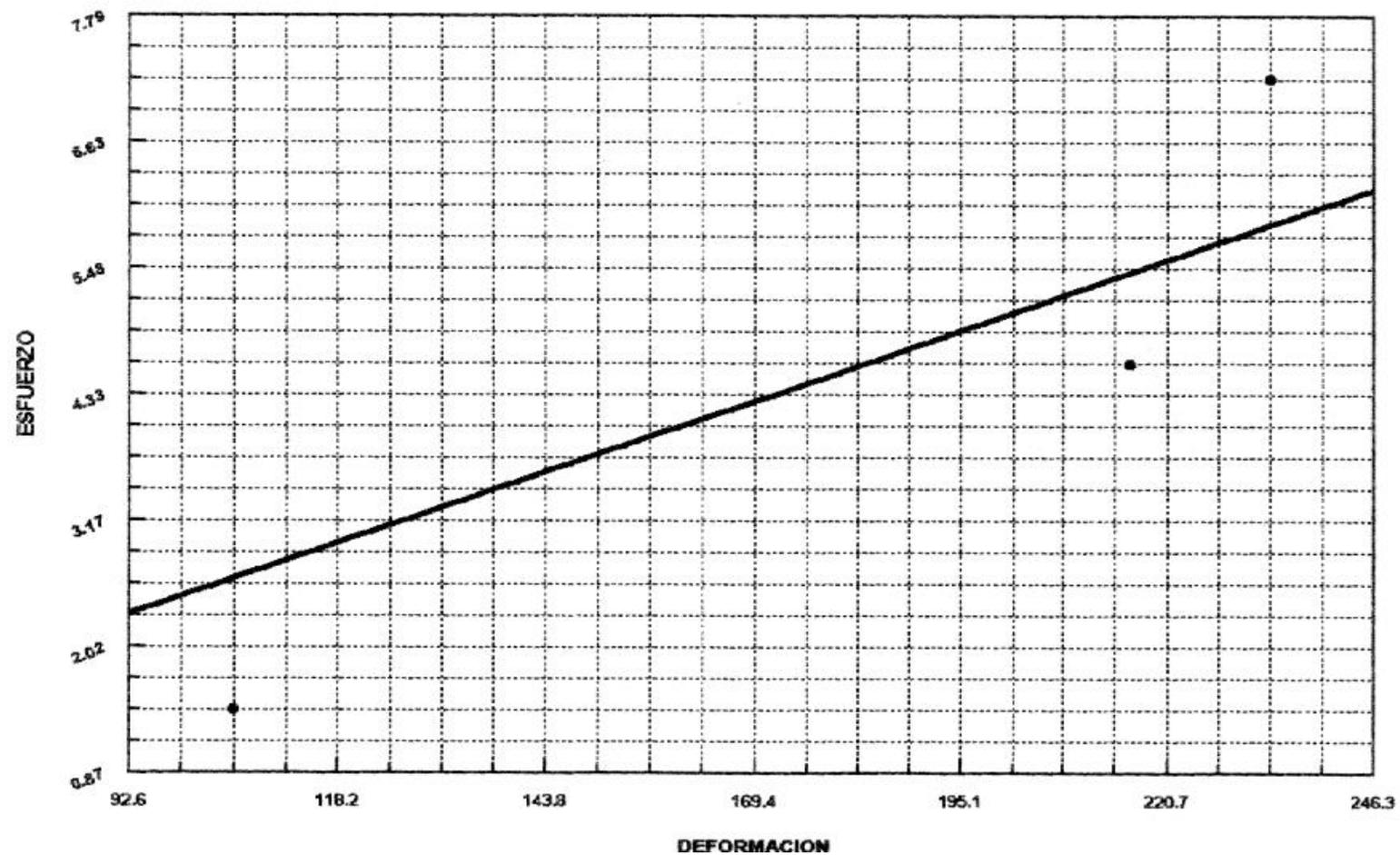
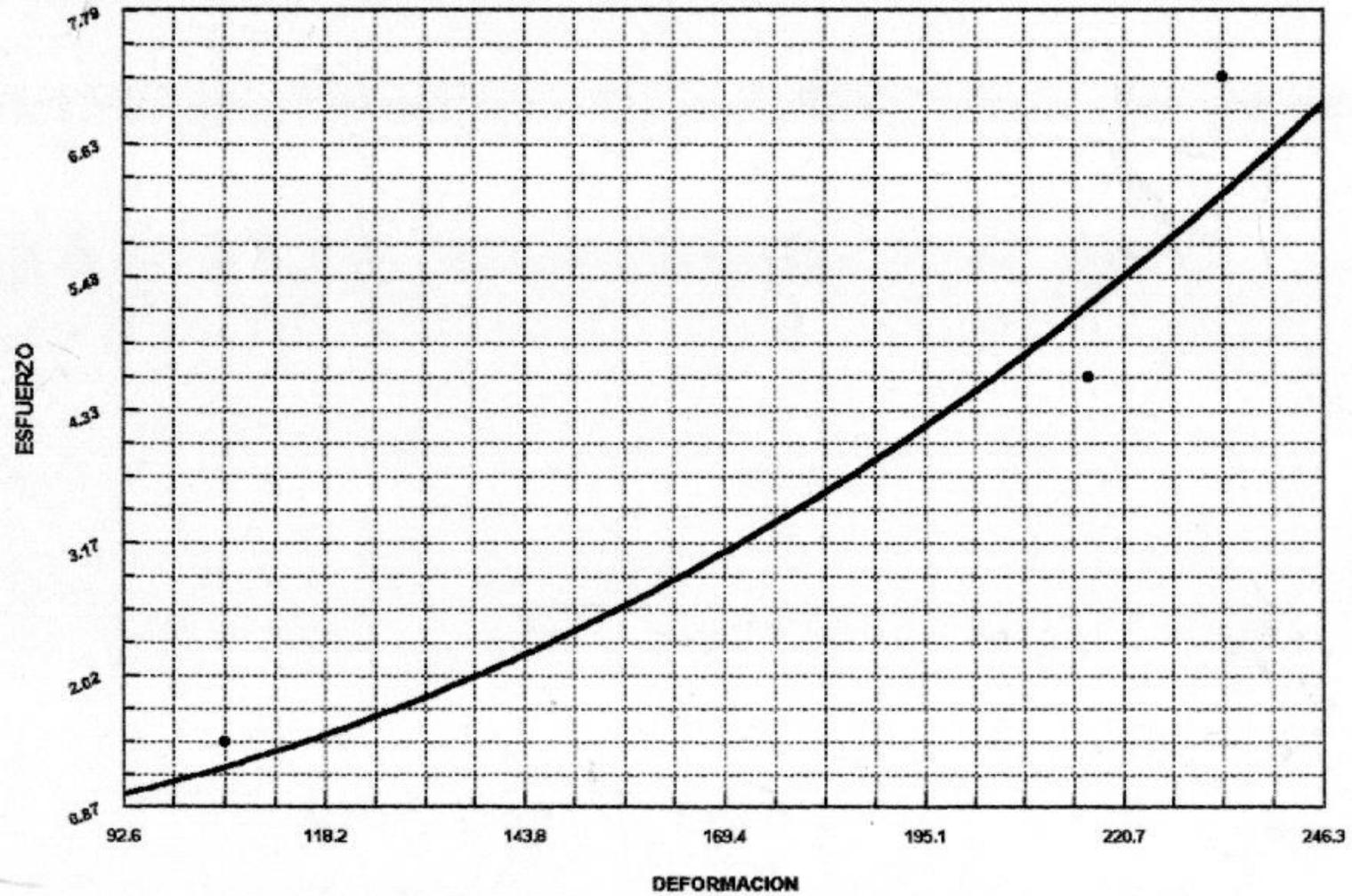


FIGURA 12 ESFUERZO VS DEFORMACION PARA YOGUR COLACTEOS - MODELO HERSCHEL BULKLEY



3.2.1 Curva de Temperatura Vs Viscosidad

La muestra montada en el equipo piloto fueron 10 litros a 16 °C de yogur COLACTEOS elaborados en el reactor de 1800 litros; se hizo la primera medición, luego calentamos a través de inyección de vapor en el reactor piloto hasta llegar a 23 °C efectuando nuevamente la medición de viscosidad, posteriormente se elevó la temperatura de la muestra empleando el mismo procedimiento hasta obtener 34°C y realizar la última medición de viscosidad.

Los resultados se consignan en la tabla 7 y en la figura 13 se hace un ajuste de un modelo matemático práctico; ya que el mejor ajuste se obtuvo con un polinomio de cuarto grado el cual dificulta el análisis físico que es realmente el buscado con este procedimiento por eso se busca otro modelo que sea más fácil de interpretar por esto se toma el modelo lineal ya que el obtenido presenta coeficientes estadísticos aceptables:

Ecuación lineal:

$$y = a + bx \quad \text{donde} \quad \begin{aligned} a &= 0.376757 \\ b &= -0.008984 \\ \text{error estándar} &= 0.014 \\ \text{coeficiente de correlación} &= 0.99 \end{aligned}$$

Tabla 7. Variación de la viscosidad de una sola muestra vs. la temperatura, se mantienen constantes los otros factores

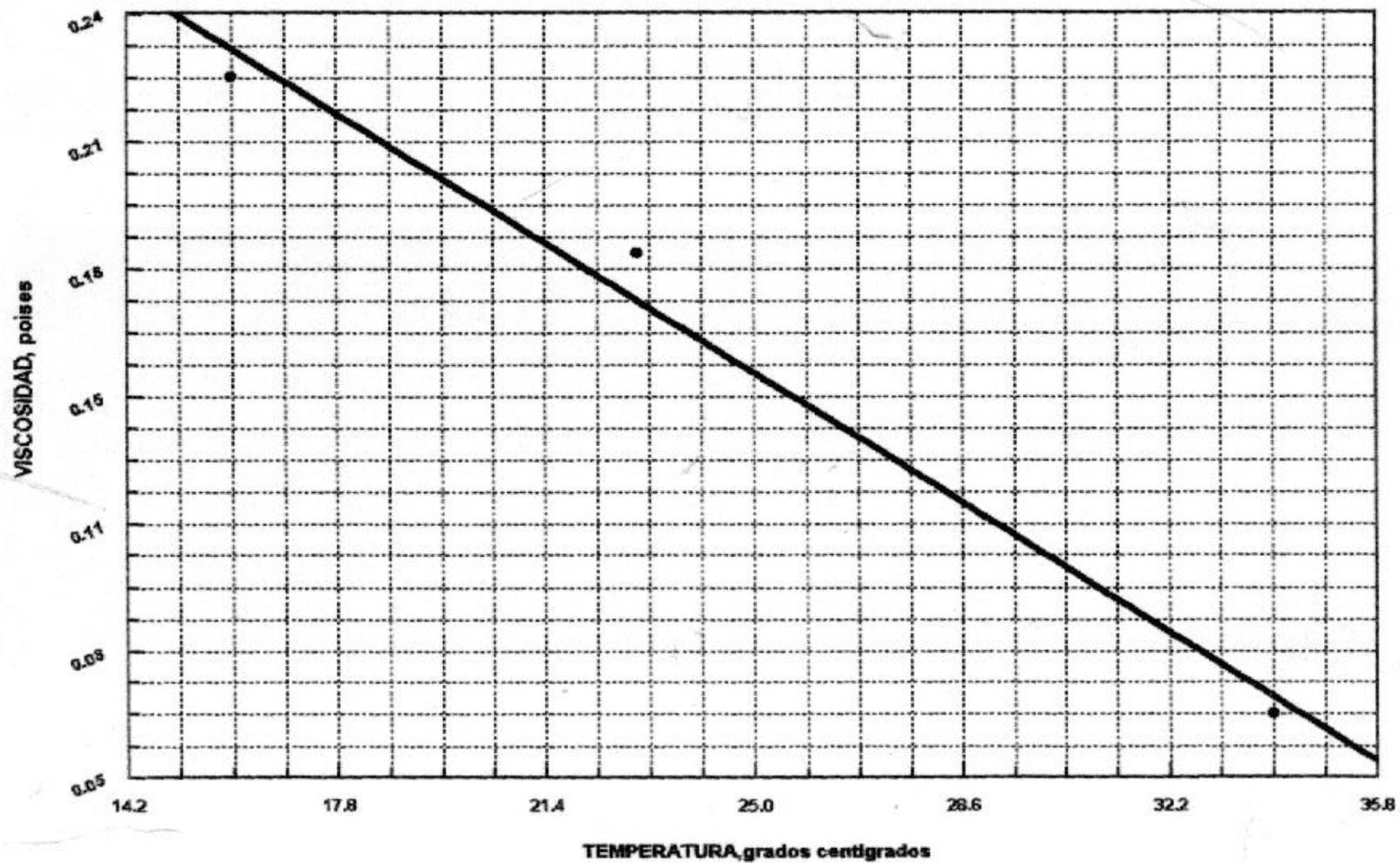
Nº de muestra	Temperatura	Muestra	Muestra	Tiempo	Caudal	Presión	Diferencia	Viscosidad	Viscosidad
	°C	GRS	Probeta Grs	Segundos	Volumétrico	Promedio milil	Presión grmasa/cmseg2	poises	Corregida poises
1	34	2400	343	45	35.83545377	2.08	20.8	0.006668716	0.06668716
2	23	1310	345	30	18.93939394	3	30	0.018198977	0.181989768
3	16	1246	343	30	17.04834606	3.35	33.5	0.022576382	0.225763821

Fuente: Presente investigación

3.2.2 Curva de velocidad angular Vs Viscosidad.

Para efectuar este análisis se monto un ensayo de laboratorio consistente en cargar el reactor con una muestra de yogur con 57 grados de acidez a 18 grados centígrados; someterla a tres velocidad angulares diferentes en el agitador empleando el sistema de variación de frecuencia; para cada variación se midió la viscosidad absoluta siguiendo el método descrito en el numeral 5.1, los resultados se registran en la tabla 8, y se observa en la figura 14; para tener una idea del comportamiento se ajusto una ecuación lineal de las siguientes características:

FIGURA 13 GRAFICA VISCOSIDAD VS TEMPERATURA DE UNA MUESTRA DE YOGUR COLACTEOS



$$y = a + bx \text{ donde: } a = 0.034$$

$$b = -9.95 \text{ E} - 5$$

error estándar = 0.0036

coeficiente correlación = 0.764

Tabla 8. Variación de la velocidad Vs La viscosidad en un yogur de 57 grados Dornic y 18 grados centígrados

Nº de muestra	rpm	Muestra	Muestra	Tiempo	Caudal	Presión	Presión	Viscosidad	Viscosidad
		GRS	Probeta Grs	Segundos	Cm3/seg	Promedio mlb	grsmasa/cm ³ ser medida	poises	Corregida poises
1	60	4345	342	30	117.688378	3.08	30.8	0.00300683	0.030068304
2	80	2979	341	30	74.35897436	1.5	15	0.00231766	0.23176597
3	120	2990	341	30	74.71153846	1.5	15	0.002306723	0.023067226

Fuente: Presente investigación

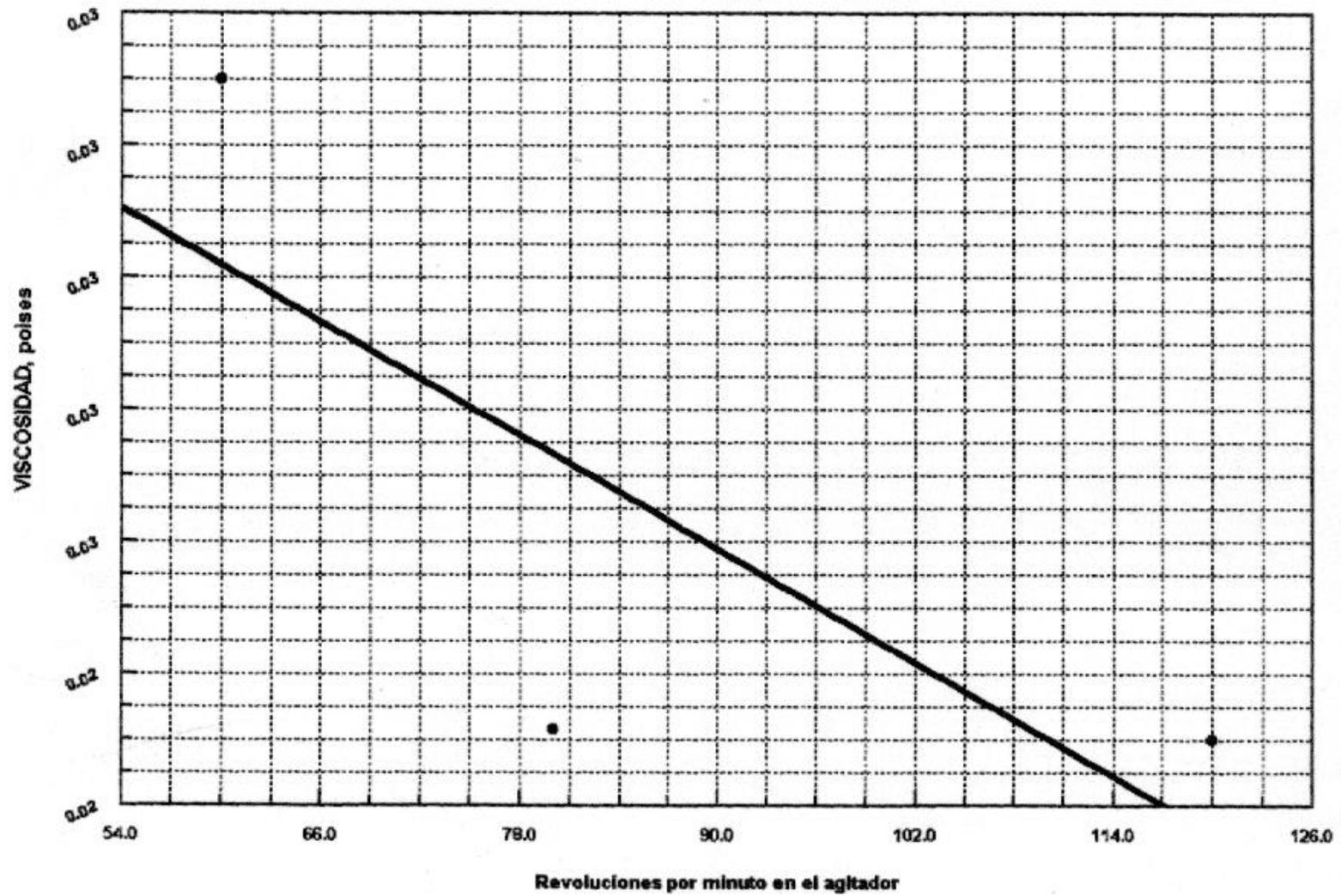
3.2.3 Curva de Acidez Vs Viscosidad

El ensayo consistió en seguir un proceso de fermentación en el reactor de 1800 litros, extrayendo una muestra de 4 litros para montarla en el reactor piloto y efectuar la prueba de viscosidad como se describe en el numeral 5.1, el muestreo fue efectuado al inicio de la fermentación, a las 4 horas de la primera muestra y al evacuar el yogur del reactor como producto terminado debido a que en los dos últimos muestreos aun existían coágulos sin romper se aplicó para los dos casos una agitación de 100 rpm, observando que la fluidez en estas condiciones fue dispendiosa, la temperatura de ensayo fue 44 °C , los resultados son tabulados y graficados, ver tabla 9 y figura 15.

3.2.4 Curva de Acidez Vs Tiempo

Este ensayo reviste suma importancia ya que marca la pauta para un nuevo punto de control de calidad el cual consiste en evaluar cada lote de fermento en condiciones mas reales, ya que el equipo piloto puede efectuar este tipo de ensayos con 10 – 15 litros, a escala de los baches industriales, de esta forma se puede obtener una curva de comportamiento y actividad del fermento, tomando la acidez y el tiempo de evolución de la misma, la gráfica obtenida se puede comparar a la suministrada en la ficha técnica del proveedor del cultivo. De esta forma se puede tener la certeza que almacenando apropiadamente el suministro evaluado no se correrá el riesgo de tener fallas en producción como muchas veces a sucedido y se disminuirán las perdidas en proceso. El procedimiento es similar para este tipo de ensayos como para la simulación de curvas de proceso, afectando alguna de las variables o registrando la variable que se desea estudiar, por lo cual se describe en el capítulo 5 numeral 5.5.

FIGURA 14 GRAFICA VELOCIDAD ANGULAR VS VISCOSIDAD



**Tabla 9. Variación de la viscosidad Vs la acidez
Muestra yogur inoculado a 44 grados centígrados y posteriormente
agitado a 100 rpm**

Nº de muestra	Acidez	Muestra	Muestra	Tiempo	Caudal	Presión	Presión	Viscosidad	Viscosidad
		GRS	Probeta Grs	Segundos	Cm3/seg	Promedio mlb	Grmasa/cm*seg medida poises	Corregida poises	
1	17	3737	347	20	144.6428571	1.25	12.5	0.000992898	0.009928964
2	55	1202	344	60	8.602661597	2	20	0.026710926	0.267109263
3	60	1285	347	60	9805764411	2	20	0.023433671	0.234336713

Fuente: Presente investigación

3.2.4.1 Evaluación del ensayo. Los datos obtenidos en el ensayo se visualizan en la figura 16, esta se compara con la suministrada por el proveedor del cultivo a través de su ficha técnica; figura 17 (curva de acidificación estándar del cultivo).

Se observa que existen varias diferencias entre estas curvas:

Las curvas suministradas por los proveedores serán en escalas de ph, como en la empresa no se cuenta con un sistema de medición en esta escala se debe efectuar un proceso para obtener una tabla de conversión, el cual se propone se realice con el fin de obtener un parámetro que se pueda comparar con las fichas técnicas suministradas por el proveedor, el procedimiento consiste en solicitar en préstamo un medidor de ph, y tomar paralelamente mediciones en grados Dornic de un mismo proceso y de una misma muestra, replicando esta prueba el mayor número de veces posible pero en todo caso no inferior a 5 ensayos.

La curva estándar evaluada se hace para un sustrato con leche reconstituida con 9 % de materia seca calentada a 95 °C por 30 minutos e incubada a 42 °C, lo cual difiere de las condiciones del sustrato, como se observa en la tabla 10.

Lo anterior evidencia claramente que el comportamiento del cultivo tendrá una diferencia marcada entre la observación practica que se hace respecto a la información suministrada por las fichas técnicas. Así se monten ensayos tratando de replicar el sustrato, ya que las condiciones en las que se elaboraría no son las mismas de las efectuadas en los laboratorios del proveedor.

Por otra parte la viscosidad de la leche incrementa con el incremento del ph, y por las pruebas observadas en este numeral, la viscosidad del sustrato para efectuar el yogur, también se incrementa y de una forma notoria, hasta alcanzar los 60 grados Dornic, pero al seguir incrementando la acidez, la viscosidad inicia una reducción, este hecho se hace visible por que el yogur presenta un des-suere que creemos cause este efecto.

FIGURA 15 GRAFICA VISCOSIDAD VS ACIDEZ

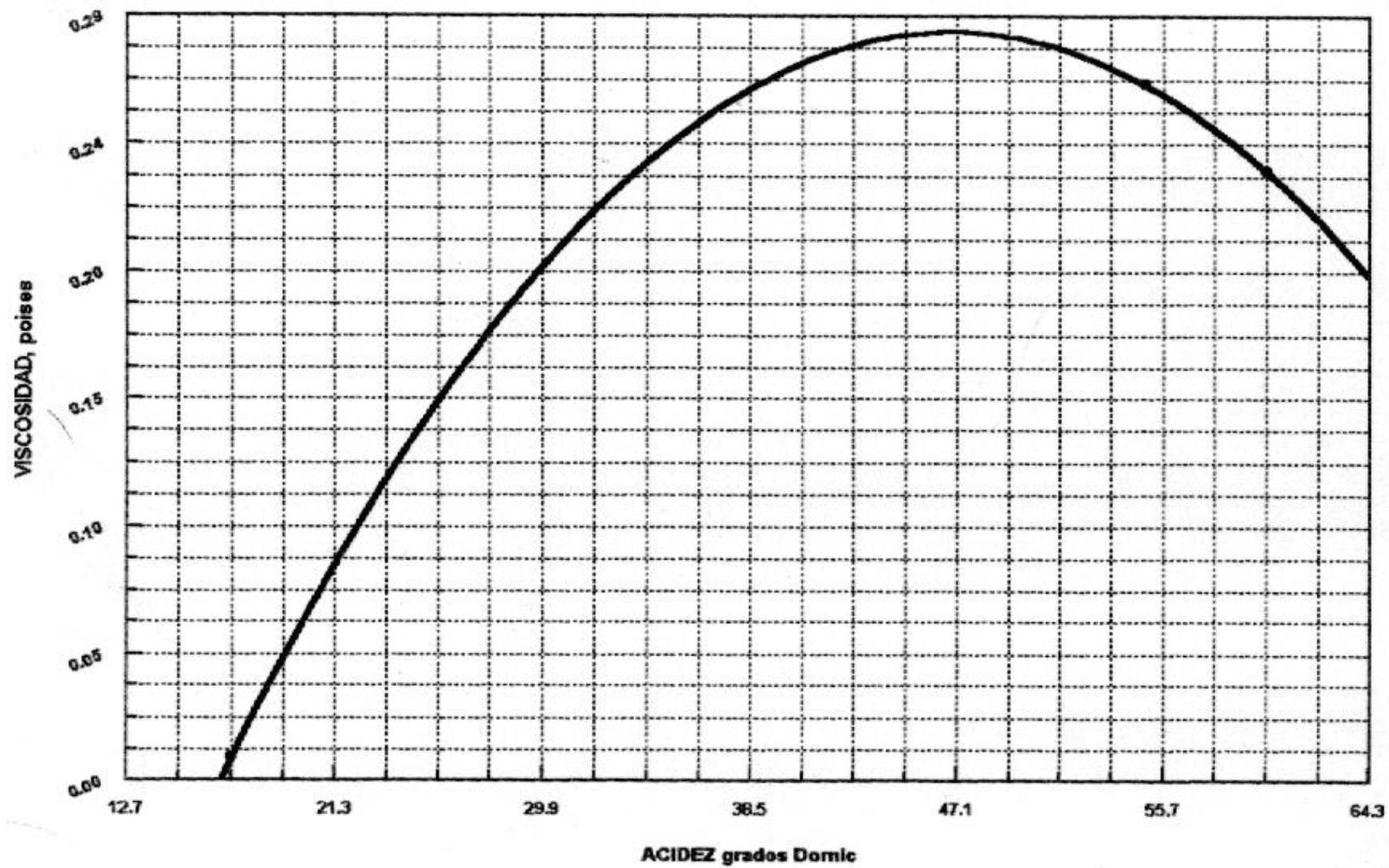
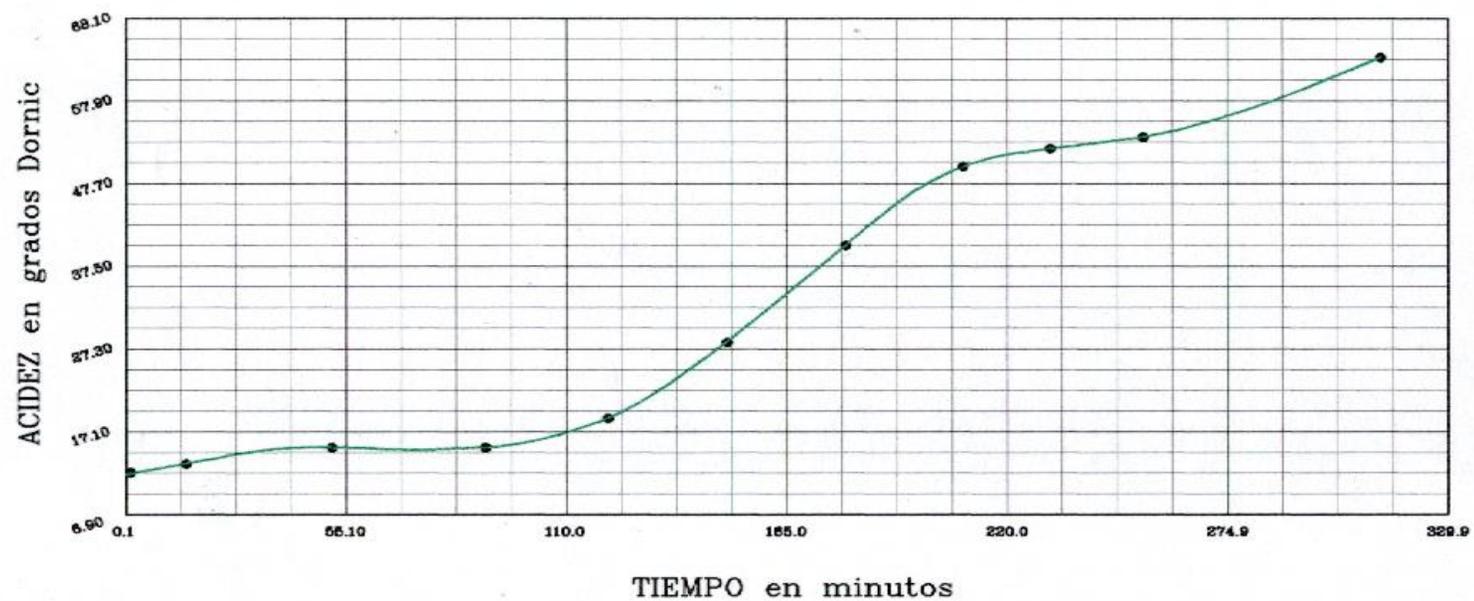


FIGURA 16 CURVA ACIDEZ Vs TIEMPO PARA EVALUAR EL CULTIVO DEL YOGUR COLACTEOS



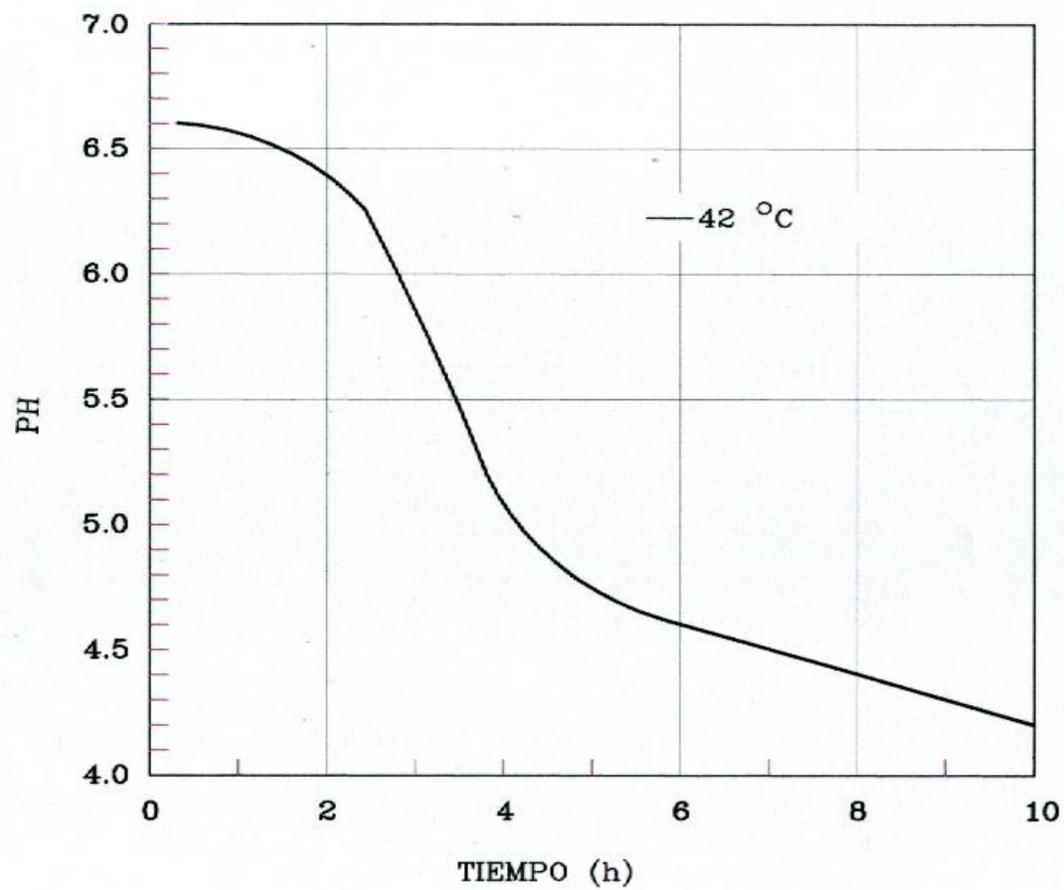


FIGURA 17

Tabla 10. Características del sustrato

Parámetro	Valor
Volumen de leche	10 litros
Densidad de leche	1030 grs/cm ³
Grasa de leche	3.20%
Sólidos totales	12.30%
Acidez de leche	14 ^o Domic
Azúcar	1 kilogramo
Leche en polvo	35 gramos

Fuente: Presente investigación

4. DISEÑO DEL NUEVO PROCESO DE YOGUR.

De la evaluación detallada de los ensayos efectuados en este estudio y resumidos en el capítulo 3 se toman los factores más relevantes y posibles de poner en práctica para rediseñar el proceso con el fin de obtener un producto de viscosidades y proceso no tan variables (estandarización del proceso y el producto).

4.1 SELECCIÓN DE LOS PARÁMETROS A CONTROLAR EN LOS PROCESOS DE PRODUCCIÓN DEL YOGUR COLACTEOS.

Las características fisicoquímicas del yogur COLACTEOS, están determinadas ya que este es un producto que tiene su posición en el mercado.

En la tabla 13 se resumen las características del yogur como producto terminado, de una muestra típica del mismo.

Analizando detalladamente las gráficas que describen el comportamiento del yogur Colácteos mostradas anteriormente, se concluye que Los factores a controlar para estandarizar la calidad reológica del producto son:

Velocidad angular de corte del coagulo

Velocidad angular agitación para enfriamiento

Temperatura de inoculación

Tiempo de inoculación

Acidez del sustrato

Calidad del cultivo y su comportamiento.

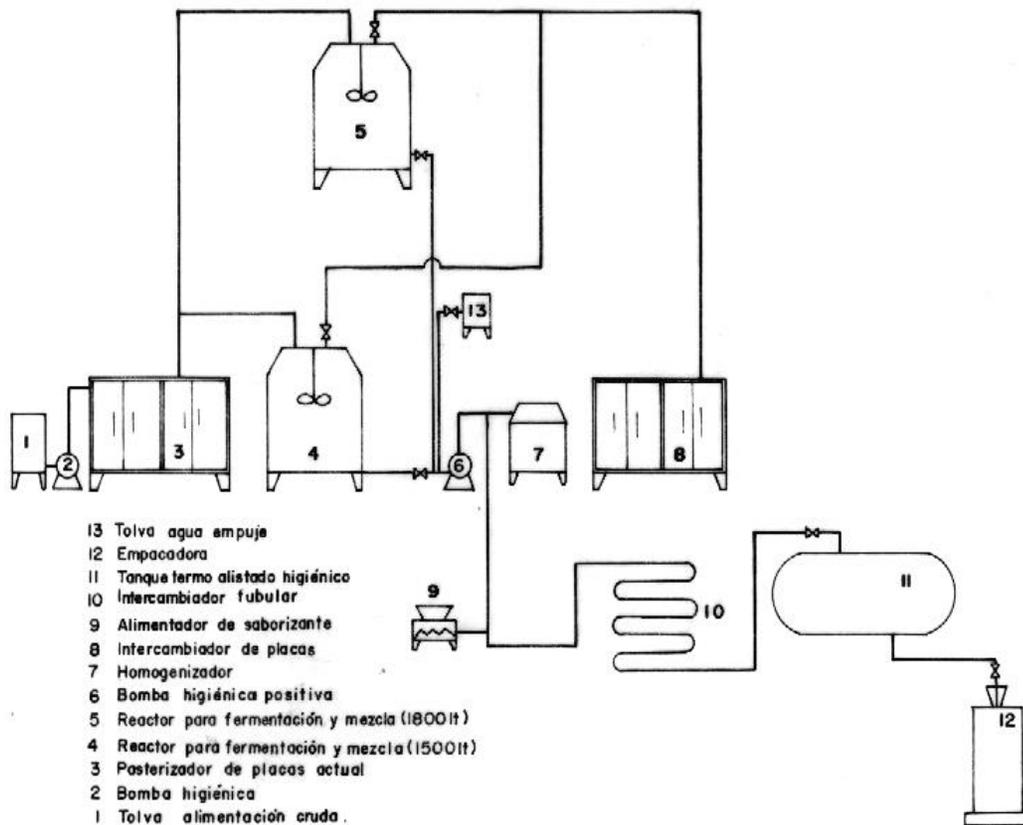
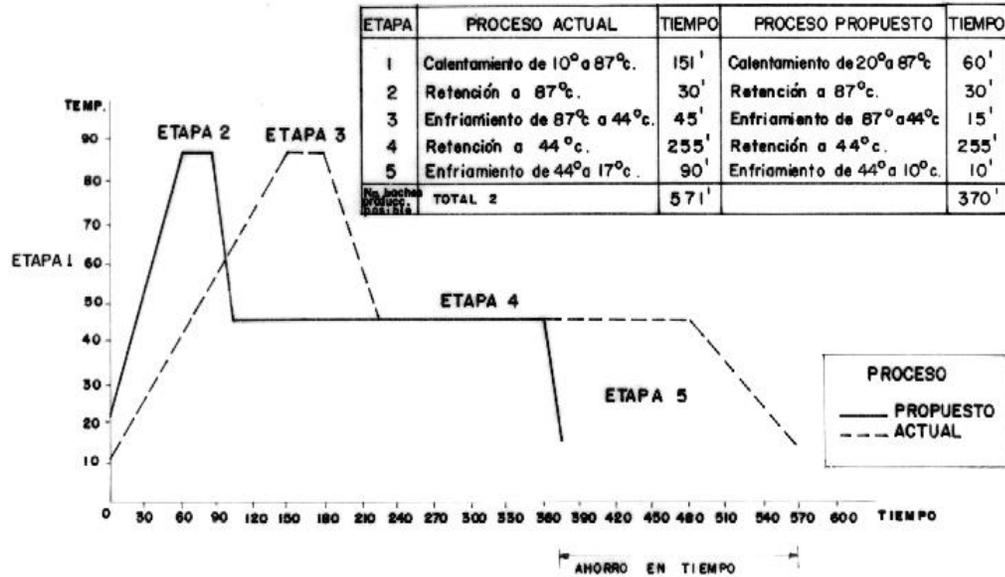
Características físico-químicas y micro biológicas del sustrato.

Dado que actualmente no se posee un control detallado de las variables mencionadas, por la falta de instrumentos adecuados y condiciones en la infraestructura se propone efectuar los siguientes ajustes al proceso actual:

4.2 DIAGRAMA DE FLUJO PROPUESTO

En la figura 18 se describe los dos procesos, el que actualmente se realiza y en el proceso propuesto, en el mismo eje de coordenadas temperatura vs tiempo, y junto a él se anexa una tabla explicativa para poder comparar las diferencias entre estos. A continuación se explican en que consiste los

FIGURA 18. GRAFICA COMPORTAMIENTO TIEMPO TEMPERATURA PROPUESTO PARA LA PRODUCCION DEL YOGURTH BOLSA COLACTEOS POR CADA 1000 DE PRODUCCION



cambios que propuestos todos tendientes a tener un mejor control del proceso, para a futuro estandarizar en forma más precisa el mismo y mejorar la eficiencia .

ETAPA 1. CALENTAMIENTO DE 20 ° C HASTA 87° C, TIEMPO EMPLEADO 60 MINUTOS: Una vez la leche seleccionada, higienizada y pasteurizada se encuentre en uno de los reactores (4 o 5), se hará recircular por el circuito que se forma con el uso de la bomba higiénica(6)y el paso por el homogenizador (7) hasta el intercambiador de placas (8), para volver al reactor de partida (4 o 5). En esta etapa se hace la adición de insumos cuando el proceso muestre en el registrador de temperatura (60 ° C), inmediatamente manipular las válvulas del homogenizador para efectuar la homogenización del sustrato en línea por un periodo de 30 minutos hasta alcanzar la temperatura fina alcanzada por el pasterizador en línea que se asume es de 80° C, posteriormente con la agitación proporcionada por el sistema del reactor y a 45 rpm alcanzar los 87° C empleando el sistema de calentamiento alimentado por vapor sobre calentado.

ETAPA 2.RETENCION DEL SUSTRATO A 87 ° C DURANTE 30 MINUTOS. Esta etapa se efectúa con el empleo del reactor y manteniendo una agitación constante de 45 rpm , de esta forma el sustrato homogenizado culminará el proceso de pasteurización. Al cabo de los 30 minutos debe sonar la alarma activada por un temporizado el cual dio inicio de conteo cuando recibe la señal del control de temperatura que se obtuvo los 87 ° C. Mientras se hace este proceso, el operario debe preparar el pasterizador de placas efectuando un empuje con agua pasteurizada usando el tanque de almacenamiento agua pasteurizada de 200 lts, numerado en la figura (13), de esta forma se empuja los residuos del sustrato y se enfría el intercambiador ; en este paso el intercambiador debe alimentarse por el lado del líquido de intercambio térmico con agua helada a 2° C.

ETAPA 3. ENFRIAMIENTO DE 87 ° C A 44° C, DURANTE 15 MINUTOS. Usar el intercambiador de placas(8) y la bomba (6) y abriendo las válvulas del homogenizador, para evitar presión al líquido se efectúa un enfriamiento acelerado recircular el sustrato por el circuito mostrado en la figura 18, hasta obtener 48 °C y con la inercia térmica del proceso completar la etapa hasta llegar a los 44 ° C deseados.

ETAPA 4.RETENCION A 44 ° C, DURANTE 255 MINUTOS.

Esta etapa se efectúa en el reactor con el fin de inocular el cultivo que le da las características propias del yogur, se hace en completa asepsia y tomando todas las medidas que se toman actualmente al respecto, en esta etapa el control de la temperatura se hace con el uso del sistema propuesto en este capítulo y con el empleo de un temporizador para controlar el tiempo

de fermentación lo mismo que el uso de un ph metro instalado en el reactor el cual indica el valor así como la activación de una alarma para no sobrepasar el punto de acidez (60 ° D)para efectuar el corte, este parámetro es de suma importancia para la estandarización del yogur. Al finalizar la etapa se efectúa el corte a 25 rpm se baja la velocidad de corte por que el yogur se bombeará posteriormente a través de un enfriador tubular lo cual le disminuirá un más la viscosidad.

ETAPA 5. ENFRIAMIENTO DE 44 ° C HASTA 10° C.

En esta etapa se saborizará en línea mediante el uso de un dosificador de mermelada o saborizante (9) en el momento que se evacua el yogur desde el reactor en proceso (4 o 5) usando la bomba positiva (6). El intercambiador tubular usará agua helada a 2 ° C como sustancia refrigerante, en un solo paso obtener de 44 ° a 10 ° C, temperatura ideal para empaçar.

Es importante notar los siguientes aspectos, que hacen que esta propuesta sea viable:

- Las etapas 1,3,5 Se efectuarán en los mismos equipos, a los cuales se conectan los reactores de fermentación, como estas se efectúan en condiciones similares, esta parte del proceso controlada será estándar para todos los baches de producción.
- Incorporar el equipo 6 y 7, no requiere mayor inversión, ya que estos son equipos recuperados y están disponibles.

4.3 DISEÑO DE INTERCAMBIADORES DE CALOR

4.3.1 Diseño del precalentador

Este punto tiene como propósito determinar los requerimientos generales del equipo para mejorar la eficiencia en la etapa 1, de esta forma se puede seleccionar el intercambiador de placas adecuado, es importante anotar que existe en la planta un equipo que puede instalarse para este trabajo, por lo cual solo se determina el área de transferencia requerida y observar si el intercambiador posee igual o mayor área.

4.3.1.1 Parámetros de diseño.

Temperatura inicial: 20 °C, temperatura final 87 °C.

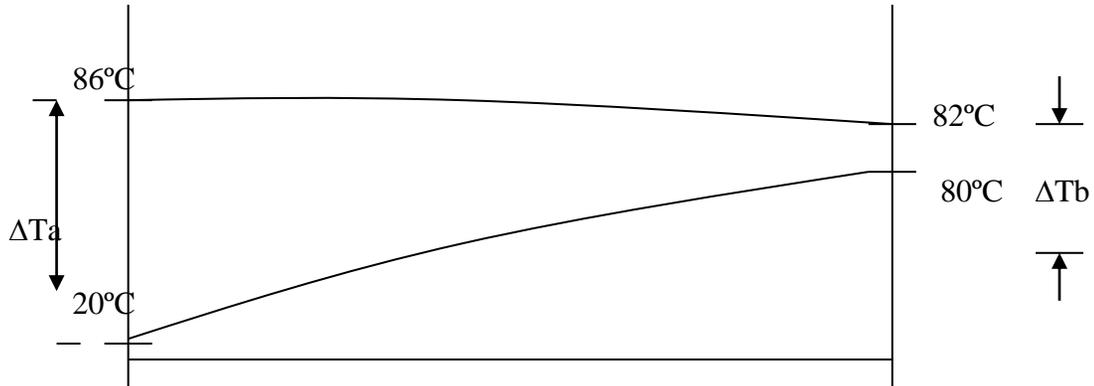
Producto: leche tibia a 20 °C, cantidad 2000 litros / hora

4.3.1.2 Cálculo de la carga térmica

4.3.1.2.1 $q \text{ total} = 4558.4 (0.93) 152.6 = 646919 \text{ Btu /hora}$

4.3.1.2.2 Temperatura media logarítmica MLDT

Primer paso.



En contracorriente (Datos tomados de otros equipos de transferencia en Planta)

$$\overline{\Delta T} = \frac{\Delta T_a - \Delta T_b}{\ln(\Delta T_a / \Delta T_b)} = \frac{(86 - 74) - (82 - 80)}{\ln(12 / 6)} = 10 / 0.69$$

$$\overline{\Delta T} = 14.5 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (58 \text{ } ^\circ\text{F})$$

$$C_p \text{ leche} = 0.93 \text{ Btu / lb } ^\circ\text{F}$$

$$m = 2000 \text{ lit / hora} * 1036 \text{ kg / 1 litro} * 2.2 \text{ lb / 1 kg} = 4558.4 \text{ libras / hora}$$

4.3.1.3 Calor a transferir

$$q = m C_p \overline{\Delta T}$$

$$q = 4558.4 \text{ lbr / hora} * (0.93) \text{ Btu / lbr } ^\circ\text{F} * (58 \text{ } ^\circ\text{F})$$

$$q = 245880 \text{ Btu / hora} \quad \text{Proporcionado por el equipo}$$

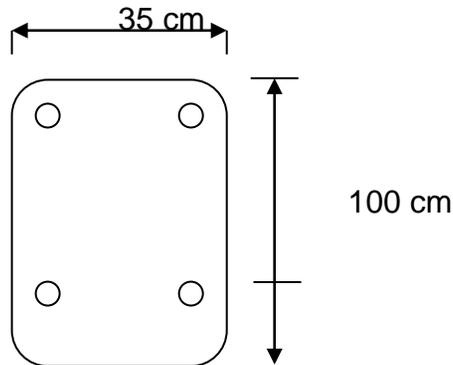
4.3.1.4 Cálculo del área aproximada para el intercambiador de placas.

$$A = \frac{q}{U (\text{MLDT})}$$

Donde : U = Coeficiente total de transferencia térmica (Ver tabla anexo 5)
 Asumimos el de vapor de agua a solución acuosa.

$$A = \frac{245880 \text{ Btu}}{100 \text{ Btu} \text{ hora} (58 \text{ }^\circ\text{F})} \text{ hr pie}^2 \text{ }^\circ\text{F} = 43 \frac{\text{pie}^2}{\text{pie}^2} \frac{122 \text{ pul}}{1 \text{ pul}} \frac{2.54^2 \text{ cm}^2}{\text{cm}^2}$$

$$A = 39948 \text{ cm}^2$$



Número de placas existentes 76

$$\text{Área placa} = 35 * 100 = 3500 \text{ mts}^2$$

Número de placas :

$$\# = A_{\text{total}} / A_{\text{placa}}$$

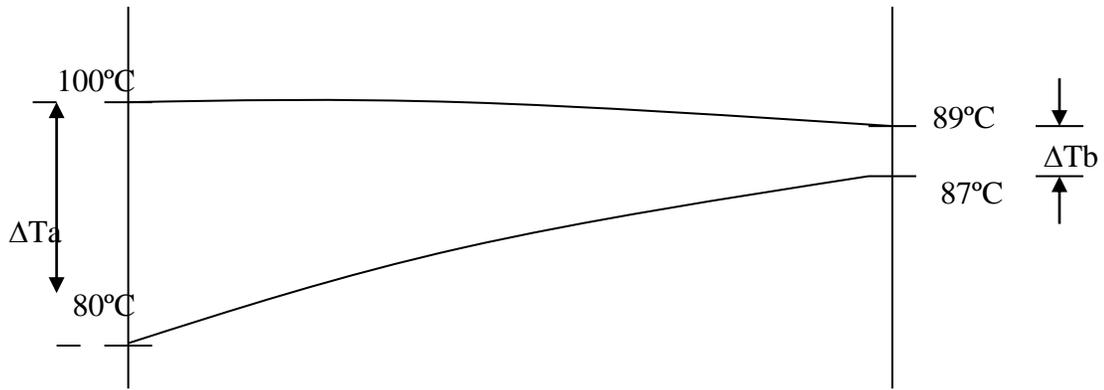
$$\# = 12 \text{ placas}$$

Por lo tanto si es posible el montaje del intercambiador para culminar la primera etapa o sea:

Incrementar de 20°C a 80 °C, en una sola etapa aprovechando para esta 12 placas de las 76 disponibles.

Para elevar de 80 °C a 87°C, se necesita emplear el reactor, al cual se le inyecta vapor sobrecalentado a 100°C.

4.3.1.5 Calculo MLDT Segundo paso (En el reactor)



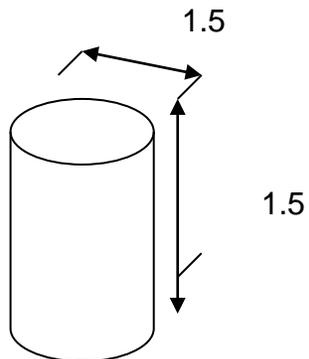
$$MLDT = \frac{\Delta T_a - \Delta T_b}{\ln(\Delta T_a / \Delta T_b)} = \frac{(100 - 80) - (89 - 87)}{\ln(20 / 2)}$$

$$= 18 / 2.3 = 7.82 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ (} 46 \text{ } ^\circ\text{F} \text{)}$$

$$. q = 4558.4 \text{ lbsr / hora} * (0.93) \text{ Btu / lbr } ^\circ\text{F} * (46 \text{ } ^\circ\text{F})$$

$$. q = 195008 \text{ Btu / hora}$$

$$A = 195008 / 100 (46) = 43 \text{ pie}^2 \approx 40000 \text{ cmt}^2$$



Area contacto (Ac)

$$Ac = 2 \pi r l = 6.283 * r * l$$

$$A = 70685.83 \text{ cmt}^2$$

Como se requiere 40000 cmt² para efectuar el calentamiento en 1 hora, con 70685 cmt² se requiere 33 minutos, por lo tanto es factible efectuar este cambio.

4.3.2 Diseño del sistema enfriador

4.3.2.1 Carga térmica .

Para enfriar de 87 °C (189 °F) a (111 ° F) 44 °C

$$q = \dot{m} * Cp * \Delta T$$

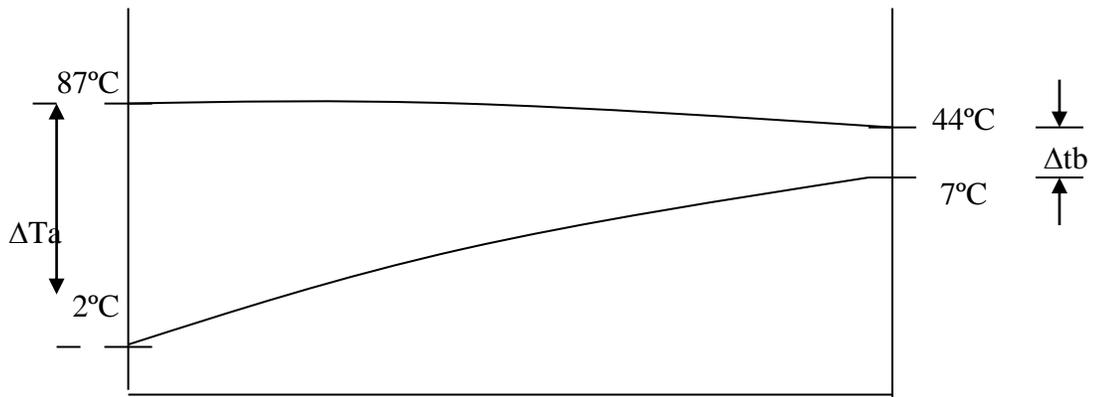
$$q = 4558.4 \frac{\text{lbs}}{\text{hora}} (0.93) \frac{\text{Btu}}{\text{lb}^\circ \text{F}} (189 - 111)^\circ \text{F}$$

$$q = 330666 \frac{\text{Btu}}{\text{hora}} * \frac{\text{hora}}{60 \text{ min}} * \frac{1 \text{TR}}{200 \text{ Btu /min}}$$

$$q = 27.55 \text{ TR}$$

4.3.2.2 Primera Etapa

Enfriamiento del sustrato de 87°C a 44°C en el intercambiador de placas Barrido con agua.



$$MLDT = \frac{\Delta T_a - \Delta T_b}{\ln(\Delta T_a / \Delta T_b)} = \frac{(87 - 2) - (44 - 7)}{\ln(85 / 37)}$$

$$= 48 / 2.29 = 21 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$MLDT = 21 \text{ } ^\circ\text{C} (70 \text{ } ^\circ\text{F})$$

$$q = \frac{4558.4 \text{ lbr}}{\text{hora}} * (0.93) \frac{\text{Btu}}{\text{lbr } ^\circ\text{F}} * 70 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$q = 296752 \text{ Btu / hora}$$

$$\text{Area} = \frac{296752 \text{ Btu / hora}}{100 \text{ Btu / hor pie}^2\text{ } ^\circ\text{F}} (70 \text{ } ^\circ\text{F})$$

$$\text{Area} = 42.39 \text{ pie}^2 = 39385 \text{ cmt}^2$$

$$\# \text{ placas} = 39385 \text{ cmt}^2 / 3500 \text{ cmt}^2 = 12 \text{ placas}$$

Por lo tanto el intercambiador requiere un mínimo de 12 placas

4.3.2.3 Segunda etapa: Este consiste en enfriar el yogur. Como los intercambiadores de placas para este producto, deben poseer menor caída de presión para no generar turbulencia y dañar el yogur, se recomienda el tipo tubular que presenta una menor resistencia al flujo y no dañará el producto.

4.3.2.3.1 Carga térmica:

Enfriar desde 44 °C a 10 °C (111°F a 50 ° F)

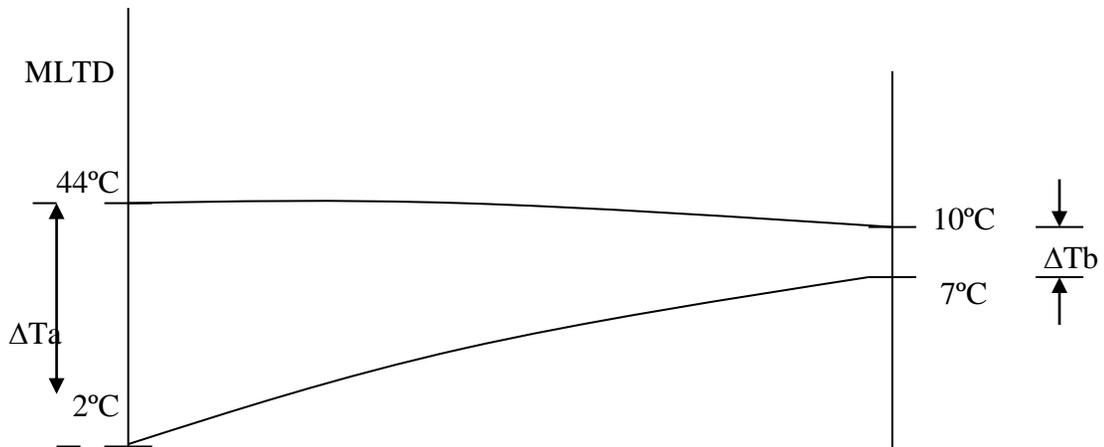
$$q = 4558.4 \text{ Btu / hora} * (0.93) \text{ Btu / lbr } ^\circ \text{ F} * (111 - 50) ^\circ \text{ F} = 258598$$

Suponemos que $C_p = N_o$ es muy diferente que el de la leche.

$$\text{Área} = \frac{q}{U (\text{MLTD})} = \frac{258598 \text{ Btu / hora}}{100 \text{ Btu / hr pie}^2 \text{ } ^\circ \text{F} (\text{MLTD})}$$

Donde U = coeficiente total de transferencia térmica de un tubo de acero inox de 1 pulgada de diámetro exterior

(100)Btu / hr pie² °F Página 537 del libro *Principios de transferencia de calor de Frank Kreith.*



El agua helada entra a 2°C y se usa como liquido refrugente, en contra corriente

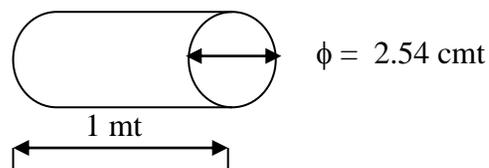
$$\begin{aligned} \overline{\Delta T} &= \frac{\Delta T_a - \Delta T_b}{\ln (\Delta T_a / \Delta T_b)} = \frac{(44 - 2) - (10 - 7)}{\ln (42 / 3)} \\ &= 39 / 2.63 \end{aligned}$$

$$\Delta T = 14.77 \text{ }^{\circ}\text{C} \text{ (} 58.6 \text{ }^{\circ}\text{F)}$$

$$\text{Área} = \frac{q}{U \text{ (MLTD)}} = \frac{258598 \text{ Btu / hora}}{100 \text{ Btu / hr pie}^2 \text{ }^{\circ}\text{F} \text{ (} 58.6 \text{ }^{\circ}\text{F)}}$$

$$\text{Área} = 44.1 \text{ pie}^2 = 40997 \text{ cmt}^2$$

El área promedio de un tubo de 1 pulgada de diámetro exterior por cada metro es :



$$A_{\text{tubo}} = 2 \pi r l$$

$$A_{\text{tubo}} = 797.96 \text{ cmt}^2$$

$$\text{Metros de tubo requerido} = 40997 \text{ cmt}^2 / 797.96 \text{ cmt}^2$$

$$\text{Metros de tubo} = 52 \text{ mts}$$

o su equivalente.

Se propone el arreglo mostrado en la figura. 19.

4.4 ADECUACIONES TÉCNICAS PROPUESTAS A LOS REACTORES ACTUALES

4.4.1 Cambio de sistema de agitación

Ver figura 20 (figura 6.9.5) *Dairy processin handbook.*, Después de obtener los efectos que causan los agitadores tipo hélice en el reactor piloto así como el uso de deflectores a lo largo de todas sus paredes laterales internas (No permite un buen corte de coagulo y obliga a emplear velocidades angulares altas) y la observación de los reactores actuales se concluye que se debe al sistema de agitación por el mostrado en la figura 20.

4.4.2 Control de velocidad

Con el fin de obtener, las siguientes ventajas:

- Indicación de la velocidad de giro del mezclador
- Control de la velocidad.
- Cambio de velocidad de corte de coagulo a velocidad de mezcla o viceversa.

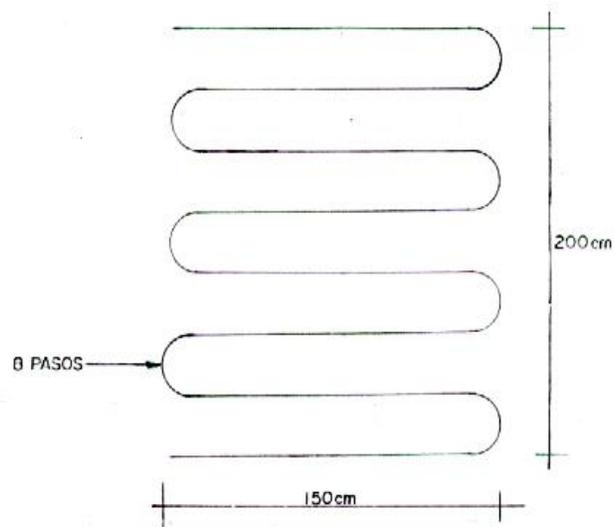
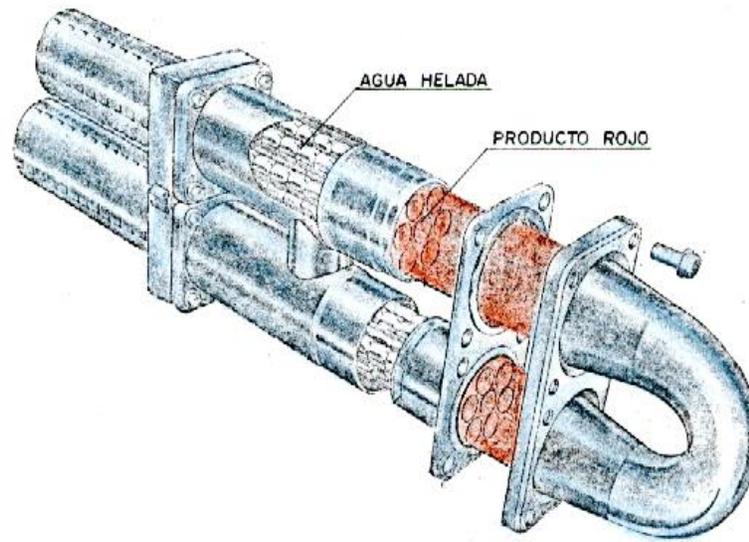
Se debe implementar un sistema de control de velocidad angular, el propuesto es :

La instalación de un variador de frecuencia con el cual se puede variar la velocidad, el seleccionado es el MICROMASTER ABB de 2 HP. Para 220 voltios trifásicos.

Una vez instalado el sistema se debe construir una tabla de equivalencia entre frecuencia y velocidad angular para estandarizar el proceso o sea independiente del reactor usado, la velocidad de corte será 30 rpm y la velocidad de mezclado 45 rpm.

Figura 19

INTERCAMBIADOR DE CALOR



4.4.3 Instalar a cada reactor un sensor, indicador y controlador de temperatura

El equipo indicador, controlador seleccionado es del tipo DIGITAL Marca. WEMER de 0 a 100°C. derivativo integral y proporcional.

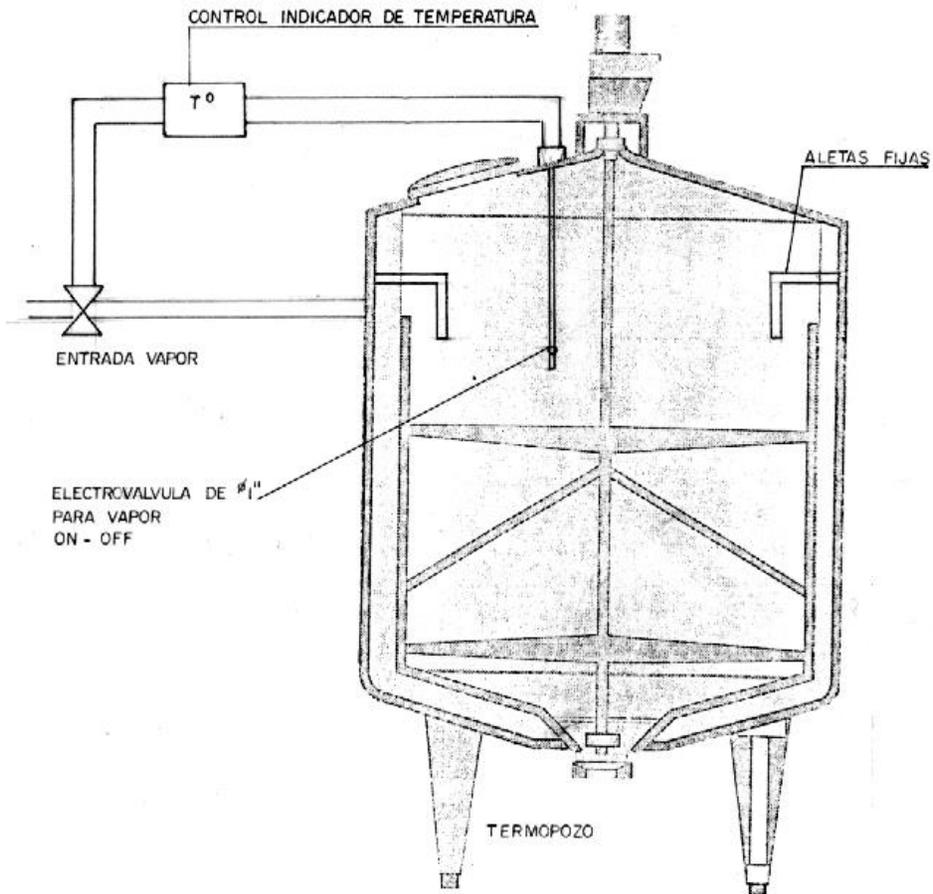
El sensor seleccionado es la termocupla PT 100, instalada en termopozo en acero inoxidable de ¼ de pulgada, 80 centímetros de longitud, con protección IP 54.

4.4.4 Instalar un transmisor de ph descrito a continuación en cada reactor

El sistema propuesto es un modelo 2050 marca, display ancho tipo LCD para facilitar lectura con capacidad de mostrar alarmas, operación y mensaje de error, fácil acceso de calibración a 2 puntos y desde el teclado posee 2 salidas de control por relevo y una salida análoga de 4 – 20 miliamperios, resolución de 0.01 ph, rango de ph de 0.0 a 14 ph.

Censor de ph Inpro 3300(para anterior transmisor) especial para aplicaciones en control de ph en procesos de fabricación de alimentos, con cable de extensión desde el transmisor a el electrodo de 1.5 metros de longitud referencia VP6/10.

Figura 20. Sistema de agitación propuesto para el tanque de proceso de yogur



5. DISEÑO DE PROCEDIMIENTOS Y CONTROLES DE PROCESOS Y ASEGURAMIENTO DE CALIDAD.

En este capítulo se condensan la metodología que se debe seguir, con el fin de operar correctamente el equipo piloto, efectuar simulación de procesos muy próximos a la realidad y la obtención de datos con bajo porcentaje de error.

Antes de operar el equipo se debe leer cuidadosamente este capítulo, el cual será el manual de operación, mantenimiento y seguridad del mismo.

5.1 DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO

El equipo piloto está conformado por tres partes (ver el plano del equipo piloto y viscosímetro de tubo en el anexo 2):

La primera corresponde al reactor piloto; este es un tanque termo aislado, dotado de una camisa para el paso del vapor o el agua, dependiendo de la operación a efectuar, este posee:

- La línea de entrada de vapor regulado a 35 psig y 100 grados centígrados 1 y 2, protegida contra una sobre presión por una válvula de seguridad calibrada a 15 psi (21).
- La línea de entrada de agua helada a 2 grados centígrados, 3 y 4-
- La línea de evacuación de agua o condensado 9 y 10 respectivamente

El termo pozo 11

- La línea de aire a presión 50 psi (5.6).

El motor eléctrico para el accionamiento del agitador 7

El agitador 8 y el acople para el ducto de evacuación de la muestra.

La segunda parte está constituida por el tubo intercambiable de salida de la muestra cuyo diámetro instalado actualmente es de ½ pulgada nominal (16 milímetros de diámetro interno), el cual tiene instalada:

- Una válvula de paso de ¾ diámetro nominal a la salida del tanque (22).
- Una T con un niple en el cual está montado el manómetro P1 (12). Una T con un niple en el cual está montado el manómetro P2(13) .
- Una válvula de salida tipo globo de ¾ diámetro nominal (19.05 mm).

La tercera parte esta conformada por un recipiente de 15 litros (15), y una báscula de 0 a 16 kilogramos, la báscula no necesariamente debe estar incorporada al sistema, pero en el momento de las mediciones se debe disponer de esta, la bascula a utilizar es la CW 80 RICE LAKE instalada en la sección de empaque de leche.

5.2 NORMAS DE SEGURIDAD

Leer las instrucciones siguientes antes de operar el equipo.

La camisa del tanque del reactor trabaja con vapor regulado cuyo flujo permite una presión en la línea de 35 psi, pero si existe una obstrucción en la misma esta presión puede superarse fácilmente, por tal razón el equipo tiene instalado en la línea de entrada una válvula de seguridad la cual se dispara si la presión supera los 15 psi con el fin de proteger al operario y al equipo contra una sobrepresión. Esto obliga a revisar permanentemente que esta válvula este en operación y buen estado antes de alimentar el equipo con vapor.

La camisa del tanque es termo aislado, pero las válvulas, niples, tapa, tubería de alimentación de vapor no, por lo tanto se debe operar con cuidado las válvulas y la tapa en el momento de la operación y no tocar los niples ni la tubería de alimentación para evitar quemaduras.

El motor del agitador es alimentado con una red trifásica a 220 voltios , posee un guarda motor que protege al operario, al motor, al control de temperatura y al abridor de velocidad, su cableado esta protegido y aislado, pero si se observan fallas en esta red, se debe informar inmediatamente al operario de mantenimiento. El equipo también está aterrizado. Es importante recordar no destapar ningún elemento que posea alimentación eléctrica.

El equipo posee una alimentación de aire a 50 psig lo cual es controlado por una válvula reguladora, es importante no desconectar la manguera sin antes cerrar la válvula de alimentación de aire.

La válvula de salida de la cámara (9) del equipo debe estar abierta cada vez que se inicie una operación para evitar sobre presión.

5.3 MEDICIÓN DE LA VISCOSIDAD ABSOLUTA

5.3.1. Efectuar limpieza, desinfección, escurrido y secado del compartimiento interno del tanque del reactor, es importante recordar que la presencia de otro fluido diferente a la muestra la contamina y cambia sus propiedades.

5.3.2. Llenar el tanque dependiendo del numero de muestreos que se realizaran, la capacidad del tanque es de 12 litros y cada muestreo requiere 4 litros sin inyección de aire y dos litros con inyección de aire.

5.3.3. Revisar que los manómetros estén en el CERO de referencia, en este caso los manómetros deben marcar 4.5 milibar con la tubería vacía y el tubo de venteo (23) abierto y la válvula 22 cerrada. Si esto no sucede se debe llamar al mecánico de mantenimiento para que el lo recalibre.

5.3.4. Observar si la temperatura marcada en el indicador 19 es la deseada, si se requiere que esta sea mayor proceder de la siguiente forma:

- Revisar que la válvula 9 este abierta.
- Levantar la manija de la válvula de seguridad 21, para verificar que esta este operando.
- Abrir la válvula 2 de operación para permitir el paso de aire, solo dar un pequeño giro ya que el sistema es muy eficiente observar el indicador de temperatura, si se obtuvo la temperatura deseada esta se mantendrá por un lapso de 30 minutos, si las válvulas de ingreso de vapor o agua permanecen cerradas, al cabo de este tiempo caerá en un grado.

Si se requiere que la temperatura sea menor, se procede de la misma forma que se describe anteriormente, pero la válvula a operar (3) es la del ingreso de agua helada a dos grados .

5.3.5. Abrir la válvula 22, inmediatamente los manómetros indican un incremento de presión, en el manómetro P1 se registra una presión menor de 1 a 2 milibar que el P2 dependiendo del fluido a evaluar. Si la presión es menor o igual a 10 milibar en P1, es necesario incrementar con aire comprimido y seco el sistema abriendo lentamente y observando en el manómetro de la unidad de aire 6 y en los manómetros P1 y P2, hasta obtener en P1 una presión de 20 milibar. Lo anterior se hace con el tubo de venteo 23 abierto, para evacuar el aire presente, cuando esto sucede las agujas de los manómetros no oscilan, alcanzado el equilibrio se debe cerrar el tubo de venteo.

5.3.6. Pesar en la báscula 16 el recipiente 15 y una probeta de 250 centímetros cúbicos de laboratorio, registrar en la tabla formato del anexo 05.

5.3.7. Colocar el cronometro en 0, abra la válvula 22 giro completo y accione el cronometro, en ese momento observe la presión en P1 y P2, dicte el dato para que se registre y después de 15 segundos, cierre la válvula 22, pare el cronómetro, en este momento se observa que los manómetros presentan

una presión estable pero mas baja que la inicial. El tiempo registrado y las caídas de presión entre P1 Y P2 se deben registrar en la tabla formato del anexo 05.

5.3.8 Pesar la muestra recolectada en el recipiente.(Muestra grs)

5.3.9 Pesar de la muestra recolectada 250 centímetros cúbicos medidos en la probeta.(Muestra probeta grs).

5.4 PROCEDIMIENTO PARA PROCESAR LA INFORMACIÓN PARA EL CÁLCULO DE LA VISCOSIDAD

5.4.1 Formula a emplear:

$$\mu = \frac{\pi (\Delta P) R^4}{8 L Q} \quad \text{en poises} = \text{gr} / \text{cm} \cdot \text{seg}$$

donde : ΔP esta dado en gramos masa/ cm \cdot seg²
R, L en cm.
Q en cmt³/ seg.

5.4.2. Preliminares :

ΔP = milibares

1 milibar = 10 gr masa / cm \cdot seg²

5.4.3 Calculo de la Densidad

$$\rho = m/v = \frac{\text{Peso de probeta llena} - \text{Peso probeta vacía}}{250 \text{ cmt}^3}$$

$$Q = m / \rho = \frac{\text{Peso muestra} - \text{Peso recipiente}}{\rho}$$

$$\dot{Q} = Q / \text{tiempo evacuación muestra}$$

ΔP = Promedio de la diferencia de presión en P1 y P2 en milibar

Como el Radio (R), la longitud (L) y π son constantes entonces :

$$K_{te} = \pi * R^4 / 8L = \frac{\pi (0.8)^4 \text{ cm}^4}{8 * (14) \text{ cm}}$$

$$= 0.011489253 \text{ cm}^3$$

$$\mu = k_{te} * \frac{\Delta P \text{ poises}}{Q}$$

$$\mu = 0.011489253 * \Delta P/Q \text{ poises.}$$

Para simplificar el procedimiento se diseña en una hoja de calculo la tabla operativa, con la cual alimentando los datos apropiadamente se determinará la viscosidad absoluta, el procedimiento se describe a continuación:

- Registrar el número de muestra en la columna 1 de la hoja Excel, con el fin de identificarla, preferiblemente anotar la fecha y número de lote.
- Temperatura, agitación en rpm empleada
- En la columna muestra en gramos, el peso de la muestra incluido el peso del recipiente.
- En la columna muestra probeta en gramos, el peso de la muestra medida en la probeta de 250 centímetros cúbicos. Incluido el peso del recipiente
- En la columna tiempo en segundos empleado entre el momento en que se abre y cierra la válvula 22.
- En la columna peso recipiente, el peso del recipiente vacío en el cual se recolectó la muestra.
- En la columna peso probeta, el peso de la probeta de 250 centímetros cúbicos vacía.
- La columna caudal volumétrico efectúa el cálculo de este parámetro empleando la teoría expuesta en el capítulo en este numeral.
- En la columna presión promedio en milibar se registra el promedio de la diferencia : P1 –P2.
- La columna Presión : gramos masa/ cm * seg² , efectúa la conversión para poder usar en la fórmula.

- La columna viscosidad medida, efectúa el cálculo de la viscosidad empleando la formula descrita en la parte teórica de este numeral.
- La columna viscosidad corregida efectúa el cálculo de la viscosidad medida por un factor de corrección (10) encontrado en la tabla 4.

5.5 PROCEDIMIENTO PARA EL USO DEL EQUIPO EN LA SIMULACION DEL PROCESO

5.5.1 Procedimiento en el uso del reactor para pruebas controlando la acidez del sustrato.

- Limpiar y esterilizar del lugar donde esta ubicado el reactor.
- Limpiar el reactor piloto; Lavar con agua y jabón y cepillo en forma manual y posteriormente se evacuaron todos los residuos y se enjuago con agua pasteurizada, dejando escurrir totalmente.
- Medir 10 litros de leche pasteurizada con las características promedio de la usada en los baches industriales en el reactor piloto, las características de la leche son las típicas usadas en los proceso de elaboración del yogur COLACTEOS (ver tabla 10).
- Pesar los insumos en forma proporcional a la formulación para completar el sustrato, estos se muestran en la tabla 10.
- Calibrar el equipo para agitar a 45 rpm, manipulando (numeral 5.1) el regulador de frecuencia .
- Abrir la válvula (9) y disparar la válvula de seguridad (22).
- Abrir la válvula de ingreso de vapor (2), para efectuar la etapa de calentamiento en la re-pasterización lenta.
- Efectuar una retención en la temperatura a 87 ° C durante 30 minutos
- Enfriar a 44 ° C y estabilizar a esta temperatura.
- En un litro de leche ultra pasteurizada adicionar un sobre de fermento liofilizado de 5 unidades (el tipo de fermento y la referencia es información reservada), empleando para esto un Elermeyer de 1000 centímetros cúbicos, estéril. Agitar hasta que no exista grumos.

- Partiendo de las recomendaciones del proveedor del cultivo se calcula que para un lote de 400 litros se adiciona 5 unidades de cultivo para 10 litros es necesario efectuar la dilución con el fin de preservar las propiedades del mismo, efectuando la proporción se concluye que se debe añadir 25 centímetros 3 de cultivo al sustrato previamente preparado y el cual esta a una temperatura de 44 ° C.

- Cada media hora se saca una muestra por la parte superior abriendo la tapa, y cumpliendo con las normas de asepsia aplicables; Uso de tapa bocas y dotación, lavado y desinfección de manos y antebrazo, limpieza de la superficie de la tapa con una toalla esterilizada, antes y después de abrirla, uso del mechero en la zona donde se saca la muestra, empleo de pipeta estéril para cada muestreo.

- Efectuar la medición de la acidez en escala Dornic, ejecutando el siguiente proceso:

De la muestra de Yogur tomada se separa 9 mililitros en una pipeta volumétrica y se adiciona 3 gotas de fenoltaleina (Indicador), posteriormente se titula con el empleo de un acidímetro, en este se encuentra una solución de hidróxido de sodio al 0.1 normal, se mezcla gota a gota hasta observar el cambio de color, se mide en la escala del acidímetro el valor correspondiente el cual se expresa en grados Dornic y este dato es anotado.

Además se efectuar mediciones de viscosidad con el producto obtenido al final de la etapa de fermentación a 60 °D a 3 temperaturas diferentes los datos se consignan en la tabla 11, la velocidad de corte fue 60 rpm.

Tabla 11. Cálculo de viscosidad del producto elaborado

Nº	Temperatura	Muestra	Muestra	Tiempo	Caudal	Presión	Presión	Viscosidad	Viscosidad
	°C	GRS	Probeta	Segundos	Volumétrico	Bar	Grmasa/cm ² seg	poises	Corregida poises
1	23	1430	343	23	29.8705609	5	50	0.019231733	0.192317329
2	21	1117	344	19	20.3622173	3	30	0.016927311	0.169273112
3	16	1027	344	20	15.0665399	2.4	24	0.018301619	0.183016189

Fuente: Presente investigación

6. EVALUACIÓN ECOLÓGICA DEL PROCESO DE YOGUR

COMPARACIÓN DE DOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN EN EL PROCESO DE INDUSTRIALIZACIÓN DEL YOGUR.

Con el desarrollo de las tecnologías de punta y la revolución verde, en la industria agroalimentaria, se han importado de otros países tecnologías y procesos que cada día mejoran la eficiencia de los productos y el interés económico de las empresas, pero por otro lado relegan a un segundo plano, las experiencias acumuladas durante años por nuestros campesinos e indígenas.

Hoy en día también aumenta la preocupación por producir los alimentos biológicos que cumplan la importante misión de nutrirnos adecuadamente sin el peligro de intoxicarnos, estos alimentos deben tener una serie de cualidades como:

Ausencia de nocividad que pueda ser debida a microorganismos patógenos, residuos de plaguicidas, metales pesados, nitratos, etc.

Que tengan calidad agropecuaria, o sea que tenga características propias como es el caso en la procedencia de la leche, como la raza del ganado, su adaptación a condiciones del medio, requerir de pocos insumos, su producción lechera debe ser suficiente para satisfacer una línea productiva, Deben tener calidad tecnológica, Cualidades organolépticas, cualidades nutritivas, los productos biológicos como ecológicos no presentan los desequilibrios encontrados en los convencionales, al utilizarse en los procesos de industrialización elementos que enriquezcan el producto como por ejemplo, cultivos que mejoren la calidad, que aumenten la eficacia de la fermentación, como podemos hablar hoy en día de los probióticos, la adición de frutas, fibra vegetal que aportan los preciados antioxidantes como vit C y E, carotenoides y el selenio que neutralizan por un lado los radicales libres producidos en el organismo causantes del envejecimiento y deterioro de los tejidos y por otro múltiples tóxicos procedentes de la alimentación inadecuada.

Cada día las empresas del sector agroalimentario se preocupa por implementar el desarrollo sostenible donde se sustenta en ciertas condiciones como:

- La necesidad de reunir en un mismo marco los objetivos económicos y medioambientales.
- La obligación de la equidad, que añade a la natural conservación del medio a escala mundial, una redistribución de riqueza entre los países desarrollados y en vías de desarrollo.
- Mejoras en el bienestar de la población (salud, educación y cultura)
- Herencia del patrimonio medio ambiental para las generaciones futuras.

Según esto miramos como el desarrollo sostenible en el sector agroalimentario es aquel que se preocupa por que las actividades agrícolas pecuarias, forestales e industriales, conserva y no degraden el capital natural constituido por el suelo, agua y recursos genéticos de plantas y animales, objetivos alcanzables, con explotaciones económicamente viables y en un marco socialmente aceptado.

Una tecnología apropiada es aquella que tiene en cuenta el marco físico en el que actúa y que a la vez lo conserva, obtiene procesos más eficientes, las aplicaciones de tecnologías nuevas deberán someterse al principio de prudencia, que consiste en la no adopción de innovaciones de las que no este seguro puedan derivar graves perjuicios medioambientales.

En las empresas uno de los temas que cada día toman mayor importancia es el manejo industrial de los alimentos la reutilización de aguas residuales, los cuales es una valiosa alternativa económica y para aumentar la oferta de recursos de agua.

6.1 MATERIALES Y MÉTODOS

En la realización de este capítulo nos basamos en la metodología energética propuesta por **Odum**, y de los conceptos manejados en el libro **Ecosistemas y políticas públicas**, así como de los parámetros propuestos en los artículos de ecosistemas por *Dr Ortega*, donde se pretende acudir a los marcos referenciales establecidos por dichos autores.

6.2 DEFINICIÓN DE LOS SISTEMAS A DESARROLLAR

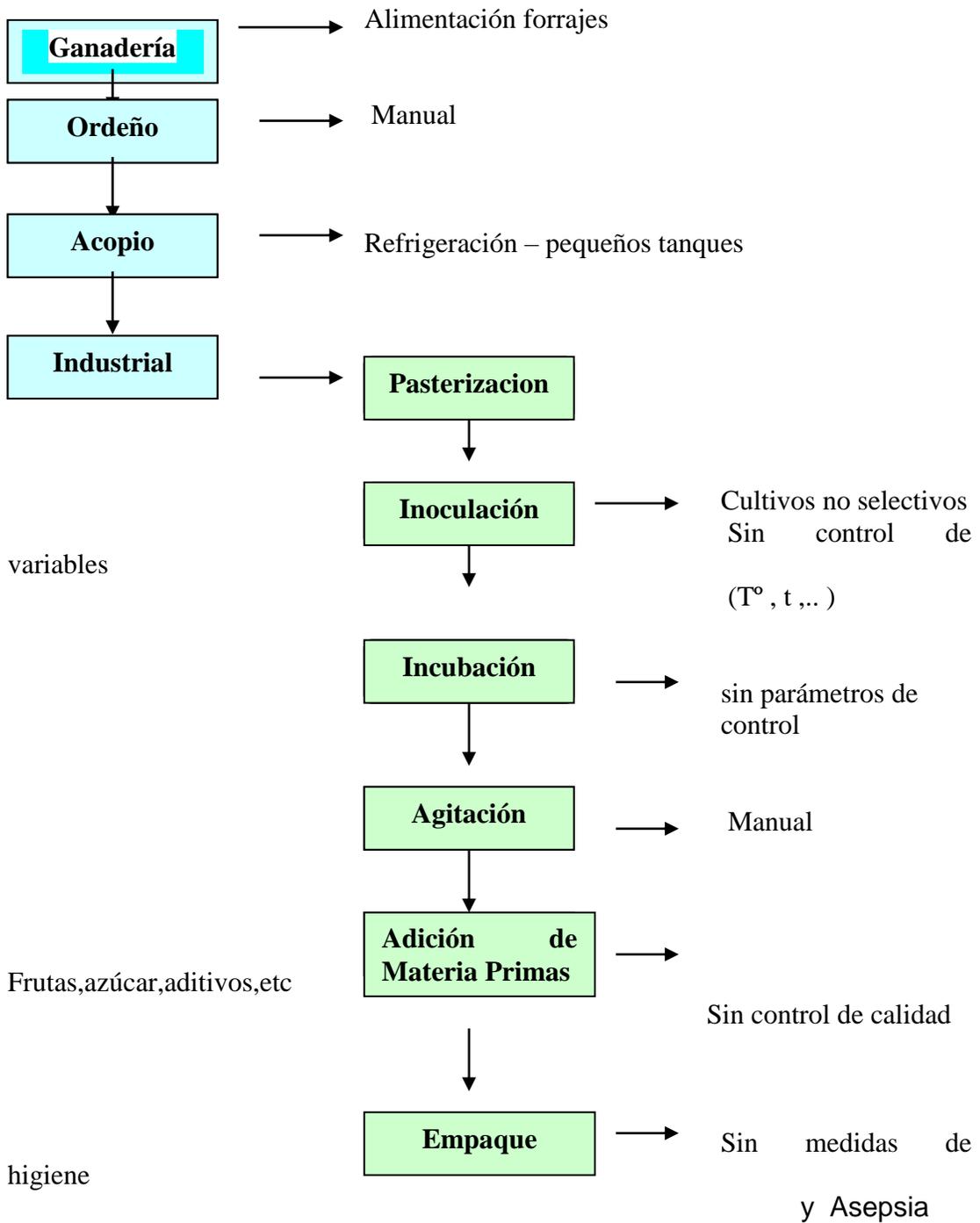
Nuestro análisis acerca del ecosistema abarca dos sistemas de producción en el proceso de elaboración del yogur, utilizando dos líneas de proceso una en forma artesanal y la otra en forma industrial, más específicamente el proceso del yogur bolsa marca COLACTEOS de donde el análisis será enfocado en las contribuciones ambientales, pérdidas en el ecosistema,

algunos factores externos como el tratamiento de efluentes, entre otros , para tomar como punto de partida analizamos los procesos artesanales de elaboración de yogur en el Departamento de Nariño, donde se realiza en microempresas y a nivel familiar, y en segundo plano se analiza el proceso en forma industrial donde hay organización empresarial, como en el caso de la Empresa procesadora de lácteos COLACTEOS.

6.2.1 Línea de proceso de elaboración del yogur en forma artesanal.

Para el proceso del yogur de forma artesanal desde el mantenimiento del ganado, como su alimentación (se basa solo en pastos), el ordeño se hace en forma manual, el acopio de la leche (se manejan pequeños volúmenes y se hace en pequeños tanque de refrigeración, y para su transformación o elaboración del yogur no se hace con las debidas normas industriales como por ejemplo la inoculación del cultivo los cuales no son selectivos ni certificados, la etapa de incubación no se hace con parámetros de calidad y el control de las diferentes variables como son temperatura, tiempo, concentraciones, acidez, y además no se hacen con las debidas normas de higiene y de asepsia.

6.2.1.1 Línea de flujo

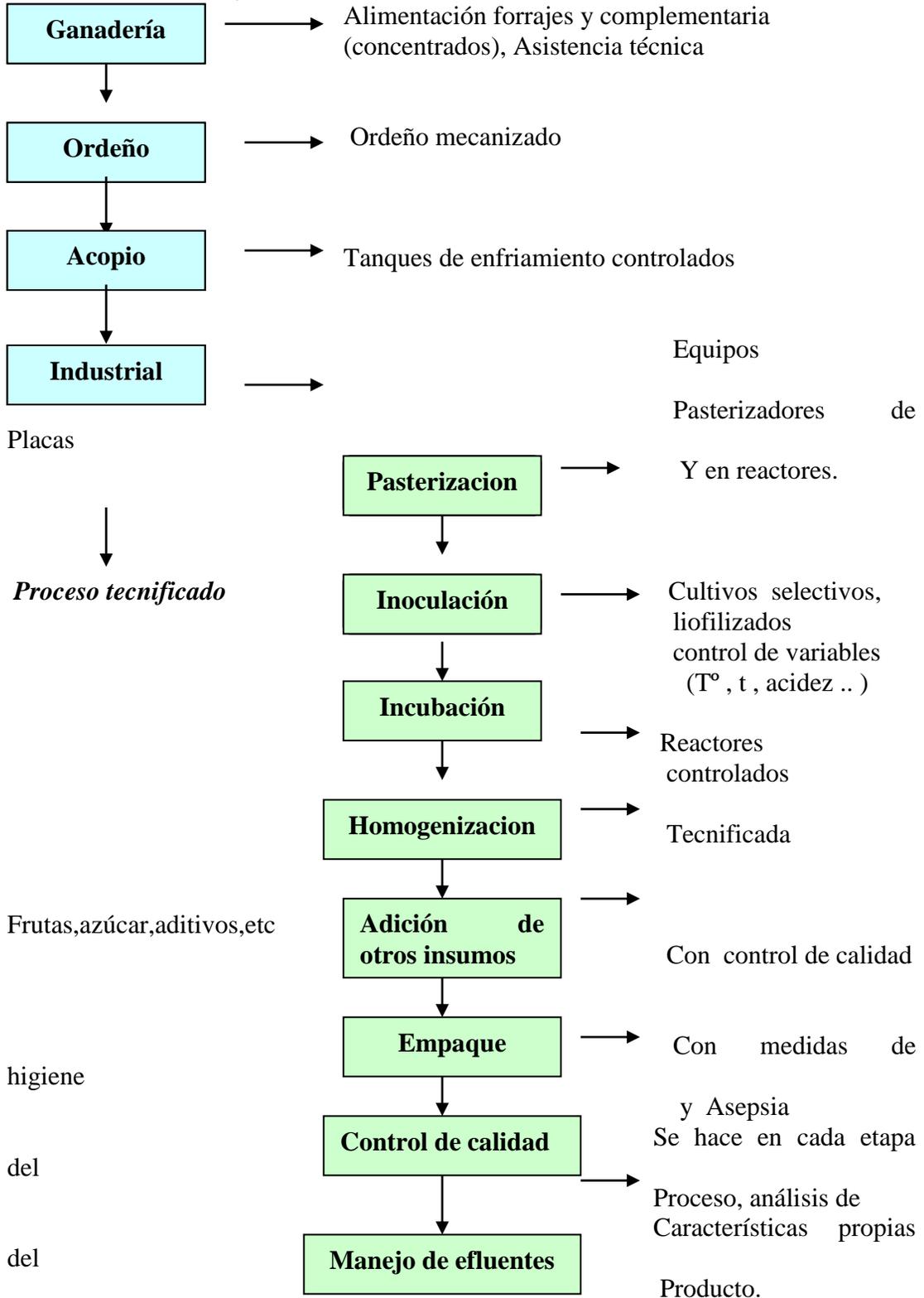


6.2.2 Línea de proceso de elaboración de yogur en forma industrial

En el proceso industrial se aplica tecnología, es totalmente mecanizado, cuyo propósito es el logro de la eficiencia en el proceso productivo.

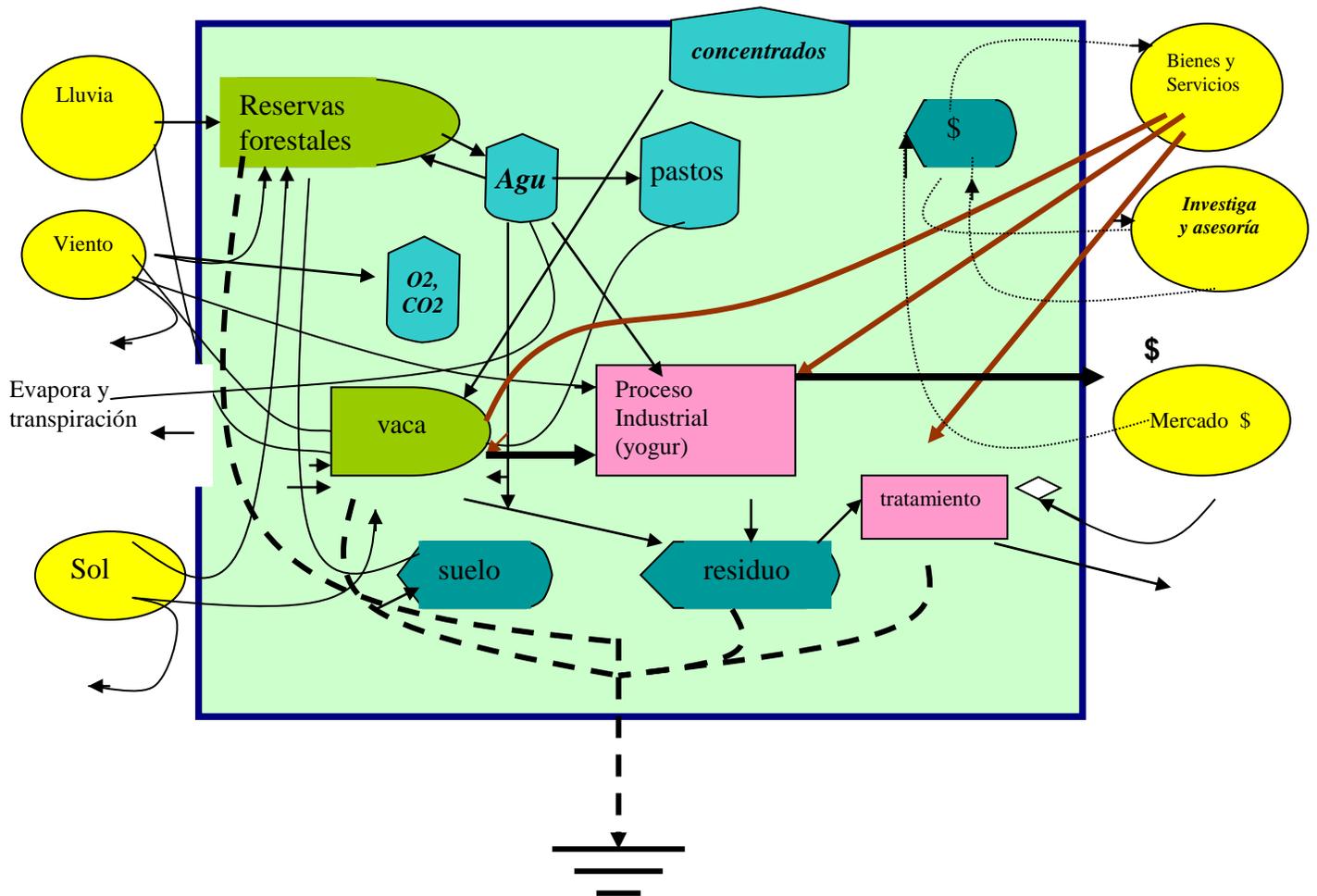
Las empresas dedicadas a la Industria láctea como en nuestro caso La Empresa COLACTEOS, maneja toda la cadena productiva, desde el manejo de los productores de leche, donde hay manejo controlado en cuanto a características genéticas del ganado, la alimentación no solamente se basa en forrajes sino que se complementa con suplementos proteínicos, se maneja condiciones ambientales propicias, todo esto se ve reflejado en una mayor producción, y calidad de leche, en los procesos de industrialización como el acopio y el almacenamiento se hace en tanques frigoríficos, donde se manejan parámetros de control, en cuanto al proceso del yogur, se hace de manera tecnificada, evaluando en cada etapa del proceso los diferentes puntos críticos de control, las variables de temperatura, tiempo, Las características reológicas, entre otras, y posteriormente el empaque como el almacenamiento del producto terminado, se hace de manera aséptica , y con las debidas normas de manufactura y calidad.

6.2.2.1 Línea de Flujo



El diagrama general de flujo del yogur bolsa marca COLACTEOS, con las variables de control lo denotamos en la FIGURA 2b y en la TABLA 2

6.3 DIAGRAMA DE FLUJO AGROECOLOGICO



6.4 BALANCE EMERGÉTICO DEL PROCESO DE YOGUR

Para el análisis emergético se emplearon conceptos manejados en el libro de *Ecosistemas y políticas públicas de Odum*, donde se manejan los balances de materia y energía que se requieren para el análisis ecológico que implica la realización del yogur, datos que se consignan en la tabla 12.

**Tabla 12. EVALUACION DE LOS FLUJOS DE EMERGIA
PARA UNA EMPRESA PRODUCTORA DE YOGUR (Toda la cadena productiva)**

**TABLA DE EVALUACION DE LOS FLUJOS DE EMERGIA EN UNA EXPLOTACION
PARA UNA EMPRESA PRODUCTORA DE YOGUR (Toda la cadena productiva)**

ITEM	CONTRIBUCION	CALCULO	TECNIFICADO		ARTESANAL		TRANSFORMIDAD		TECNIFICADO		ARTESANAL	
			YR NUMER	YR NUMER	unidad	unidad	sej/ha*año	sej/ha*año				
1	RECURSOS NATURALES RENOVABLES (R)											
1.1	Lluvia	$(1\text{ m}^3/\text{m}^2\text{ *año}) * (10^3\text{ kg}/\text{m}^3) * (5000\text{ J}/\text{Kg}) * (10^4\text{ m}^2)$	5.00E+10	5.00E+10	J/ha*	66000	sej/ Jo	3.30E+15	3.30E+15			
1.2	Agua	$(0,5\text{ m}^3/\text{m}^2\text{ *año}) * (10^3\text{ kg}/\text{m}^3) * (5000\text{ J}/\text{kg}) * (10^4\text{ m}^2)$	2.50E+10	2.50E+10	J/ha*	66000	sej/Jou	1.65E+15	1.65E+15			
1.3	Nutrientes suelo	$(50\text{ kg}/\text{ha}) * (0,5\text{ ha}/\text{ha}^*\text{año})$	2.50E+01	2.50E+01	kg/ha	8.80E+12	sej/kg	2.20E+14	2.2E+14			
	Subtotal							5.17E+15	5.17E+15			
										0	0	
2	RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES (N)											
2.1	Suelo	$0,5(\text{suelo utilizado}) * (20 * 10^3\text{ kg}/\text{ha}.\text{año}) * (0,04\text{ kg mat. org}) * (5400\text{ kcal}/\text{kg mat org}) * (4186\text{ J}/\text{kcal})$	9.04E+09	9.04E+09	J/ha*	7.38E+04	sej/Jou	6.67E+14	6.672E+14			
	subtotal							6.67E+14	6.67E+14			
										0	0	
3	MATERIALES DE LA ECONOMIA URBANA (M)											
3.1	Madera establo	$(55\text{ m}^3/\text{ha} * 20\text{ años}) * (1000\text{ kg}/\text{m}^3)$	2.75E+03	2.75E+03	kg/ha	3.49E+04	sej/kg	9.60E+07	95975000			
3.2	Sala ordeño	$(20\text{ m}^3/\text{ha} * 30\text{ años}) * (2 * 10^3\text{ kg}/\text{m}^3)$	1.33E+03	0	kg/ha	6.70E+12	sej/kg	8.91E+15	0			
3.3	Hierro establo y sala de ordeño	$(100\text{ kg}/\text{ha} * 30\text{ años})$	3.00E+03	0	kg/ha	6.70E+12	sej/kg	2.01E+16	0			
3.3	Acero inox sala ordeño	$(100\text{ kg}/15\text{ ha} * 40\text{ años})$	1.66E-01	0	kg/ha	6.70E+12	sej/kg	1.1122E+12	0			
3.4	Semillas forrajes	$(1000\text{ kg}/\text{ha} * 15\text{ años}) * 0,5(\text{del suelo})$	3.33E+01	3.33E+01	kg/ha	2.00E+12	sej/kg	6.66E+13	6.66E+13			
3.5	Asesoría y capacitac	$(1,05\text{ e}6\text{ J}/\text{ha}^*\text{año})$	1.05E+06	0	J/ha*	4.00E+06	sej/Jou	4.20E+12	0.00E+00			
3.6	Eq refrigerac	$(1500\text{ kg acero}/15\text{ ha} * 20\text{ años})$	5.00E+00	0	kg/ha	6.70E+12	sej/kg	3.35E+13	0			
3.7	Tecnología Procesam	$(1500\text{ kg acero}/15\text{ ha} * 20\text{ años})$	5.00E+00	0	kg/ha	6.70E+12	sej/kg	3.35E+13	0			
3.8	Accesorios Technolog	$(1000\text{ kg acero}/15\text{ años} * 20\text{ años})$	3.33E+00	0	kg/ha	6.70E+12	sej/kg	2.2311E+13	0			
3.9	Ganado Leche	$(30\text{ vacas}/15\text{ ha} * 8\text{ años}) * 2000\text{ dolares}/\text{vaca}$	5.00E+02	5.00E+02	\$/ha*	2.60E+12	sej/\$	1.30E+15	1.3E+15			
	Subtotal							3.05E+16	1.4E+15			
										0	0	
4	MATERIALES DE ECONOMIA URBANA DE CONSUMO (M)											
4.1	manejo vacas	$(2\text{ vacas}/\text{ha}) * (10\text{ dolares}/\text{vaca}.\text{año})$	2.00E+01	2.00E+01	\$/ha*	2.60E+12	sej/\$	5.20E+13	5.2E+13			
4.2	concentrado	$(2\text{ vacas}/\text{ha}) * (4\text{ kg conc}/\text{vaca}.\text{dia}) * (360\text{ dias}/\text{año}) * (5400\text{ kcal}/\text{kg}) * (4186\text{ J}/\text{kcal})$	6.50E+10	6.50E+10	J/ha*	6.60E+04	sej/Jou	4.29E+15	4.29E+15			
4.3	Combustible	$(100\text{ lit}/\text{año}.\text{ha}) * (0,7\text{ kg}/\text{lit}) * (12000\text{ kcal}/1\text{ kg}) * (4186\text{ J}/\text{kcal})$	3.52E+09	0	J/ha*	6.60E+04	sej/joul	2.32E+14	0.00E+00			
4.4	Electricidad	$(300\text{ KWh}/\text{mes} * 15\text{ ha}) * (12\text{ meses}/\text{año}) * (1000\text{ w}/\text{kW}) * (1\text{ J}/1\text{ W}.\text{s}) * (3600\text{ s}/\text{h})$	8.64E+08	0	J/ha*	6.60E+04	sej/joul	5.70E+13	0.00E+00			
4.5	Sal y Minerales	$(0,06\text{ kg}/\text{dia}.\text{vaca}) * (2\text{ vacas}/\text{ha}.\text{año}) * 360\text{ dia}$	4.32E+02	4.32E+02	kg/ha*	1.00E+12	sej/kg	4.32E+14	4.32E+14			
4.6	subtotal							5.06E+15	4.77E+15			
										0	0	
5	SERVICIOS DE LA ECONOMIA HUMANA (S)											
5.1	Mano de obra simple	$(8\text{ personas}/15\text{ ha}) * (3500\text{ kcal}/1\text{ pers}.\text{dia}) * (365\text{ dias}/\text{año}) * (4186\text{ J}/\text{kcal})$	2.85E+09	2.85E+09	J/ha*	4.00E+05	sej/joul	1.14E+15	1.14E+15			
5.2	Parte administrativa	$(5\text{ pers}/15\text{ ha}) * (2000\text{ kcal}/1\text{ pers}.\text{dia}) * (365\text{ dias}/\text{año}) * (4186\text{ J}/\text{kcal})$	1.01E+09	0	J/ha*	4.00E+06	sej/Jou	4.04E+15	0			
5.3	Impuestos	$(300\text{ dolares}/15\text{ ha}.\text{año})$	2.00E+01	2.00E+01	\$/ha*	2.60E+12	sej/\$	5.2E+13	5.2E+13			
5.4	Servicios publicos	$(200\text{ dolares}/15\text{ ha}.\text{año})$	1.33E+01	1.33E+01	\$/ha*	2.60E+12	sej/\$	3.458E+13	3.458E+13			

Tabla 13. Características del yogur bolsa Colácteos como producto terminado.

PRODUCTO	YOGUR ENTERO CON DULCE
Sabores	Fresa, mora, durazno, guanábana
Especificaciones físico químicas:	
Contenido materia grasa	Rango 3,0 a 3,3
Acidez con ácido láctico	0,65 a 1%
Proteína	3,0 a 3,4%
Sólidos no grasos	8,1 a 8,3%
Especificaciones microbiológicas:	
Coliformes totales/gramo	Rango menor a 20 ufc** Menor a 3 ufc Menores a 200 ufc
NMP* Coliformes fecales/gramo	
Hongos y levaduras	

*NMP = Número más probable.

**ufc = Unidades formadoras de colonia.

Fuente: Laboratorio Control de Calidad Planta Aranda COLACTEOS.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Basados en la teoría expuesta en el libro *Introducción a la reología de los alimentos de H. Muller, Editorial Acribia*. En su capítulo 5, y de la observación de los resultados de los ensayos efectuados para esta investigación se concluye:

7.1 El viscosímetro de tubería con el reactor a escala construidos y empleados para este estudio presenta buena versatilidad ya que en él se pueden efectuar simulaciones de procesos y determinaciones rápidas de la viscosidad a bajo costo; pero presenta un error superior al 2% variando esta exactitud; debido a que el equipo posee variables como; temperatura, velocidad angular, tiempo de evacuación de la muestra, diferencia de presión, caudal volumétrico, peso de la muestra, y observación del operario; que requieren un ajuste y operación disciplinados.

Por lo anterior se concluye que es importante realizar nuevos ajustes al equipo como al método de medición los cuales se describen a continuación:

7.1.1. Reducción del diámetro del ducto de evacuación de la muestra a $3/8$ (9.52mm) para muestrear yogur y $1/4$ (6.35 mm) para muestrear leche y agua.

7.1.2. Mantener la distancia en el tramo del tubo entre el manómetro P1 y P2 de 20.4 cm recomendados por la literatura. *Proceedings of australian society of sugar cane technologists. J.N. Ness*

7.1.3 . Instalar un sensor que se accione en el momento en que se cierre o abra la válvula iniciando el conteo en el temporizado ó finalizando el mismo, con el fin de no distraer o errar la operación de la toma del tiempo de flujo.

7.1.4. Instalar una compuerta en la tapa superior para carga, observación y toma de muestras.

7.1.5 a que se observa que los efectos esperados en la agitación no fueron totalmente satisfactorios, se concluye que es necesario instalar una hélice de agitación en la parte superior y prolongar su longitud, para posteriormente evaluar el comportamiento en la agitación.

7.2 La leche sin ningún tratamiento tiene un comportamiento general de un fluido newtoniano ya que posee un contenido del 87 % de agua, 4 % de grasa, 5 % de lactosa y 3% de proteína. Este punto se ha observado en el

manejo en planta pero aún no se cuantificado por lo cual se recomienda efectuar ensayos para corroborar esta afirmación empleando el equipo piloto.

7.3 Según la literatura técnica (introducción a la reología de los alimentos) “cuando el extracto seco de la leche aumenta ,el comportamiento puede desviarse radicalmente del de un líquido Newtoniano”, sumado a esto los cambios del ph , es muy acertado pensar que el modelo matemático encontrado en el numeral 3.1.

7.4 El modelo matemático de Herschel Bulkley , determina que se requiere un esfuerzo inicial para fluir, la existencia de un índice de consistencia y otro de fluidez, lo cual si es observable en la práctica, por lo anterior se propone incrementar el número de ensayos para comprobar el ajuste a este modelo.

7.5 La leche aumenta la viscosidad con el contenido de grasa, este efecto se debe corroborar y graficar para la leche empleada en la planta a través de Ensayo.

7.6 La viscosidad del yogur desciende a medida que aumenta la temperatura. Como se observa en el numeral 3.2, es posible obtener una ecuación más acertada si se incrementan el numero de ensayos. Esta ecuación puede usarse para predecir el comportamiento en el anaquel, en conjunto con las pruebas que se sugieren encaminadas en este sentido.

7.7 Debido a que el proceso de pasteurización del sustrato empleado en la producción de yogur es un proceso de 151 minutos, se recomienda hacer este tratamiento usando el intercambiador de placas, como se expone en el capítulo 4 con esto se incrementaría la capacidad de producción en un lote de producción diario por cada reactor.

7.8 “Al reducir el tamaño de los glóbulos grasos en la etapa de homogenización de la leche, aumenta su número, su superficie especifica y la viscosidad de la leche, esto puede lograr un incremento hasta un 15% de la viscosidad” (Introducción a la Ingeniería de Alimentos, G Muller).Esta afirmación deberá evaluarse ya que el sustrato para la inoculación del yogur posee además de leche otros elementos como se mostró en el capitulo 3, de mantenerse este comportamiento; la presión de operación para este proceso deberá pasar de 1800 psig, (presión actual de operación), a 3000 psig que podría mejorar las características del producto, ya que este incremento permite el bombeo del sustrato sin arriesgar la viscosidad final del yogur. Por esto se recomienda diseñar un ensayo en este sentido.

7.9 La viscosidad de la leche incrementa con el incremento del ph, y por las pruebas observadas en el numeral en el numeral 3.2.3 la del sustrato para efectuar el yogur también y de una forma notoria, hasta alcanzar los 60 grados Dornic, pero al seguir incrementando la acidez, la viscosidad inicia una reducción, este hecho se hace visible por que el yogur presenta un

desuere que creemos cause este efecto. Este punto podrá analizarse más afondo para el estudio de mejorar la vida útil del producto, por lo cual se sugiere diseñar ensayos de laboratorio para ampliar este tema.

7.10 Se concluye que Los factores a controlar para estandarizar la calidad reológica del producto son:

Velocidad angular de corte del coagulo
Velocidad angular agitación para enfriamiento
Temperatura de inoculación
Tiempo de inoculación
Acidez del sustrato
Calidad del cultivo y su comportamiento.
Características fisico-quimicas y micro biológicas del sustrato.

7.11 RECOMENDACIONES PARTE ECOLOGICA

En la Industria alimenticia los procesos donde se utiliza la tecnología en la mayoría de sus etapas en el proceso productivo permiten alcanzar rendimientos y eficiencias muy altos.

La tecnología y la capacitación deben ser adaptadas a las necesidades locales y de la empresa, donde podría ser de una manera efectiva y eficiente promoviendo el desarrollo de una industria procesadora y sostenible.

Las empresas dedicadas ala industrialización de la leche deben pensar o incluir en su planificación administrativa el estudio del impacto ambiental que puedan causar al ecosistema y el manejo de los residuos y de efluentes que se generen para no causar daño alguno y así preservar el sistema ecológico.

Para lograr unos sistemas productivos eficientes y que no causen un impacto ambiental se debe actuar sobre ejes fundamentales como:

La mejora de la calidad intrínseca de los productos
Establecer un nuevo marco de reforma de las estructuras productivas
La mejora de la competitividad de las explotaciones - que no supone la línea productiva y el despilfarro energético – y la utilización racional de los recursos naturales.

La modernización de los equipamientos y servicios en el medio productivo y la promoción de actividades complementarias a las rentas de los ganaderos, promoviendo un desarrollo integral con la industrialización de sus materias primas.

Formación y capacitación permanente de los productores de leche.

La potenciación de una industria agroalimentaria que procese la producción de leche, contribuyendo a un desarrollo económico.

En el sistema productivo industrial, es obvio que se necesita una mayor inversión tanto en el manejo de la cadena productiva como en la parte industrializadora puesto que se invierte mayores recursos en la consecución de tecnologías como también en capacitación y asistencia técnica en cada etapa, pero los procesos son más eficientes y la producción en cuanto a cantidad y calidad es mayor que en un sistema tradicional u artesanal.

En cuanto a la parte ecológica un sistema productivo Industrializado y mecanizado cada día se preocupa por la conservación de su entorno ecológico, logrando así el menor impacto ambiental posible, mediante el manejo de residuos y el tratamiento de efluentes.

La cadena productiva lechera organizada y manejada desde el punto de vista Industrial y ecológica contribuye al desarrollo de un sistema formal de acopio, procesamiento y distribución. Por lo tanto debería ser alentado no sólo como una actividad sostenible, sino una línea productiva consiente con la seguridad alimentaria para los consumidores y como vigía de la preservación de los recursos naturales y la preservación de un ecosistema.

BIBLIOGRAFÍA

ARBOLEDA VALENCIA, Jorge. Teoría y Práctica de la Purificación del Agua. 3a. ed. Mc Graw Hill, Acodal, 2000.

Comité de Asistencia al Desarrollo (DAC)
<http://www.oecd.org/dac/htm/dacist2000.htm>

Congreso de agricultura ecológica de la comunidad Valenciana, “Desarrollo rural sostenible” José Castro Ingeniero Técnico agrícola. Plataforma rural del país valenciano, Maria José Paya Gerente Asociación Leader Ademuz – La Serranía

Dayri Science and Technology, Education Series, University of Guelph, Canadá, Home Page: <http://www.foodsci.uoguelph.ca/dairyedu/home.html>

Dayri Processing Handbook, Tetra Pak Processing Systems. AB S-221 86 Lond, Sweden.

FAO (1990) The Technology of Traditional milk products making in developing countries.

Informe sobre la conferencia electrónica de FAO “Acopio y procesamiento de leche en pequeña escala en países en desarrollo”.

LAMBERT, J.C. Dugdill, B. Draayer, J.& Bennett, A (2000) An Introductory paper on “ overview of Small Scale milk Collection and Processing in Developing Countries”, Animal Production Services (AGAP), FAO, Roma, Italia.

MATEUS, G. J. 1998 Avances de Investigación en nuevas alternativas tecnológicas para la producción ganadera en Urabá, Actualidades Año 8 No 94.

PINZON, M. E. 1996 Historia de la ganadería en Colombia, Carta Ganadera No 29

STEFFE, James F. Rheological Methods in Food Process Engineering. Second Edition. Freeman Press, USA.

T.B. Tapa, Consultor lechero, Dirección de Producción y Sanidad Animal, FAO, Roma Italia, Tecnologías de Procesamiento de Leche de Pequeña escala: Otros productos lácteos

ZAPATA, O. Y SERRANO, A 1972 Leche residual de dos razas de ganado criollo colombiano, ICA (Colombia) 7 C4: 449 454

A N E X O S

Anexo 1.

APLICACIÓN DEL VISCOSÍMETRO TUBULAR, EN LA VALORACIÓN DE LA VISCOSIDAD DEL YOGUR COLACTEOS

DESARROLLO DE LA PRACTICA.

TIPO DE VISCOSÍMETRO.

El viscosímetro empleado en la ejecución de la práctica es del tipo tubular dotado de una punta con un capilar de 3 mm, el equipo se muestra en la gráfica número 1.

DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA.

Se tomó como muestra para el análisis el yogur del lote 05 con fecha de vencimiento 28 de diciembre del año 2001, sabor a durazno, sin fruta y para empaque en bolsa.

PROCEDIMIENTO.

Ya que no existía el manual técnico del viscosímetro ni la constante de corrección del equipo se procedió a probar la confiabilidad del mismo, el volumen exacto del mismo, su forma de operar.

1. El volumen encontrado fue de 110 cts. cúbicos.
2. Se efectuaron 10 mediciones de la misma muestra a la temperatura de 24 grados centígrados, de las cuales el 50% coincidieron y el 50% tubo variaciones del orden de 10 centésimas de segundo.
3. El equipo es elemental y la medición se efectúa de la siguiente forma:
 - 3.1. Se limpia el tubo, el capilar y la tolva de cualquier sustancia extraña.
 - 3.2. Se empapa las paredes del tubo, capilar y tolva, con la muestra a medir.
 - 3.3. Se taponan con el dedo el orificio del capilar y se llena hasta el tope de la Tolva, pasando una espátula a ras de la cara superior de la tolva para garantizar el mismo volumen de medida.
 - 3.4. Se toma el tiempo empleado por la muestra patrón (agua destilada) a la temperatura que se va a trabajar la muestra de yogur.
 - 3.5. Se toma la temperatura de la muestra y se la lleva a la temperatura deseada, calentando o enfriando según lo requerido.
 - 3.6. Se toma el tiempo empleado en descargar el total de la muestra con un cronómetro de precisión.
 - 3.7. Se pesan 100 cts. cúbicos de la muestra a la temperatura de referencia en una balanza analítica descontando el peso del recipiente.

El nivel de la muestra debe nivelarse en forma precisa en la marca.

PROCESO DE LOS DATOS.

Aplicando los conceptos de la teoría expuesta en el libro guía del numeral 2.9 de las paginas 125 a 127 y la ecuación 2.101., se emplea la siguiente ecuación:

Donde :

- .M = Viscosidad del producto a medir. (gr. masa/cm.seg)
- .M² = Viscosidad del fluido referencia.(gr. masa/cm.seg)
- P = Densidad del producto a medir.(gr masa/cm.3).
- P² = Densidad del fluido referencia.(gr masa/cm 3)
- t = Tiempo empleado en fluir el producto a medir. (Segundos)
- t² = Tiempo empleado por el fluido referencia. (Segundos)

Los datos procesados se consignan en el cuadro numero 1.

Empleando la información sobre la viscosidad obtenida para el yogur a 4, 8,15 y 30 grados centígrados. Y empleando la teoría de la pagina 101 ecuaciones 2.28 y 2.29 las cuales se describen a continuación:

$$\sigma = 4Q/\pi R^3$$

- . σ = Gradiente de velocidad. (1/seg.).
- . Q = Caudal del fluido a medir. (mts/seg)
- . R = Radio del área transversal por el cual pasa el fluido. (0.0015 mts)
- . σ = Esfuerzo Cortante.(Poises/seg).
- . M = Viscosidad absoluta. (Poises).

Los datos procesados se resumen en el cuadro número 2.

ANÁLISIS DE DATOS.

Empleando el programa Curvar Expert, se obtuvo la gráfica comportamiento reológico del yogur Colácteos y el comportamiento del yogur Colácteos de la viscosidad vs. La temperatura.

De la aplicación del programa se obtuvo que el comportamiento del yogur se ajusta a la curva de la ley de potencia y la ecuación ajustada es:

Y = a*x ^ b donde:

- .a= 1.6834846E-16.
- . b= 0.036769158

Donde a es el índice de consistencia y b el índice de fluencia.

Al evaluar la curva de la viscosidad vs la temperatura, se observa que la viscosidad absoluta disminuye con el aumento de la temperatura y la ecuación práctica que mejor se ajusta al comportamiento también es del tipo de la ley de potencia:

$Y_1 = a_1 \cdot x_1^{b_1}$ donde:

. $a_1 = 0.00043763684$.

. $b_1 = -1.876203$.

CONCLUSIONES

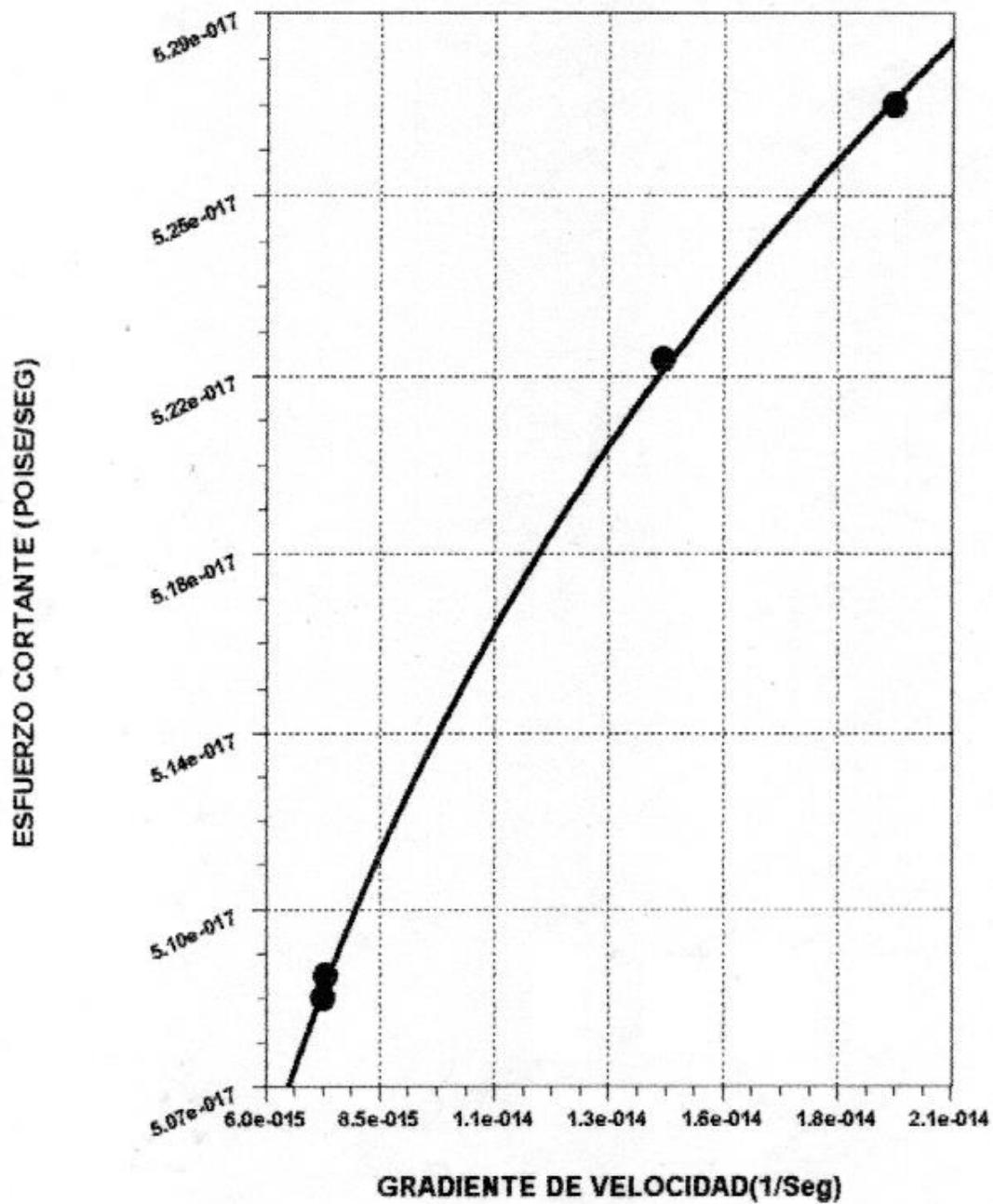
1. Los datos dependen de cuatro variables y por lo tanto su precisión depende de la exactitud con que se tomen las siguientes medidas
 - La precisión en la toma del tiempo se desalojó del fluido
 - La precisión en el volumen de llenado del viscosímetro
 - La precisión en el volumen de llenado con el producto de la probeta de 100 cm³ para el cálculo de la densidad del mismo.
 - La precisión del pesaje del producto
2. Es necesario ampliar el número de muestras a tomar, ampliando a otros rangos de temperatura como 10.14.20 y 25 grados centígrados empleando 3 tomas por cada muestra. Con el fin de mejorar la continuidad en la curva.
3. El comportamiento reológico del yogur se ajusta al fin de un fluido pseudopático y cumple con la ley de potencia con la ecuación:

$$\sigma = 1.6834846 \text{ E} - 16 \cdot \dot{\gamma}^{0.036769158}$$

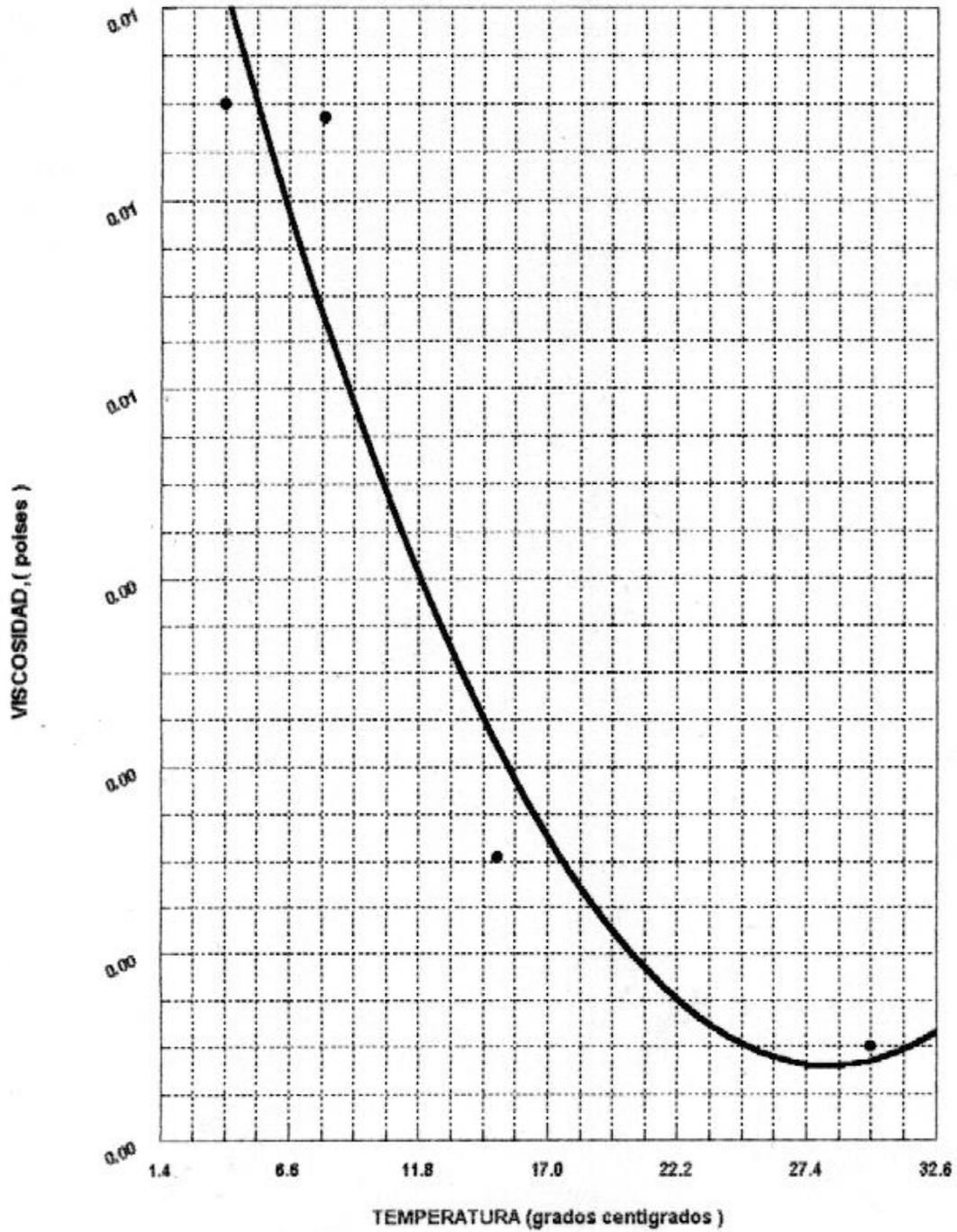
4. La viscosidad absoluta es inversamente proporcional a la temperatura y su comportamiento se ajusta a la ecuación:

$$\text{Tem} = 0.00043763684 \cdot \mu^{-1.876203}$$

COMPORTAMIENTO DEL YOGUR COLACTEOS (Presentación Bolsa)



COMPORTAMIENTO DE LA VISCOSIDAD VS LA TEMPERATURA DEL YOGUR COLACTEOS PRESENTACIÓN BOLSA



CUADRO NUMERO 1.

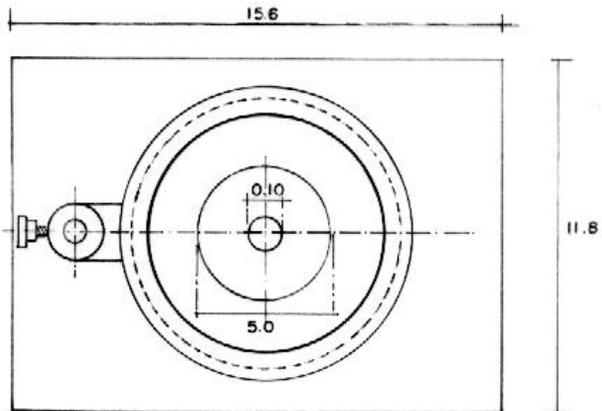
DETERMINACION DE LA VISCOSIDAD EMPLANDO UN VISCOSIMETRO CAPILAR Y COMO FLUIDO REFERENCIA AGUA .

Densidad yogur	Temperatura	Peso del yogur	Viscosidad Agua	Densidad del agua	Tiempo del agua	Tiempo yogur	Viscosidad Yogur
0	0		0,01792	0,99987			#DIV/0!
0	1		0,01732	0,99993			#DIV/0!
0	2		0,01674	0,99997			#DIV/0!
0	3		0,01619	0,99999	10,06		0
0,001082059	4	106,15	0,01568	1	10,06	64,91	0,006981755
0	5		0,1519	0,99999	10,16		0
0	6		0,01473	0,99997			#DIV/0!
0	7		0,01429	0,99993			#DIV/0!
0,001076453	8	105,6	0,01387	0,99988	10	64,315	0,006924036
0	9		0,01348	0,99981			#DIV/0!
0	10		0,0131	0,99973			#DIV/0!
0	11		0,01274	0,99963			#DIV/0!
0	12		0,01239	0,99952			#DIV/0!
0	13		0,01206	0,9994			#DIV/0!
0	14		0,01175	0,99927			#DIV/0!
0,001075433	15	105,5	0,01145	0,999113	9,7466	32,28	0,003564915
0	16		0,01116	0,99897			#DIV/0!
0	17		0,01088	0,9988			#DIV/0!
0	18		0,0106	0,99862			#DIV/0!
0	19		0,01034	0,99843			#DIV/0!
0	20		0,01009	0,99823			#DIV/0!
0	21		0,00984	0,99802			#DIV/0!
0	22		0,00961	0,9978	9,7233		0
0	23		0,00938	0,99757			#DIV/0!
0	24		0,00916	0,99733			#DIV/0!
0	25		0,00895	0,99707	9,6633		0
0	26		0,00875	0,99681			#DIV/0!
0	27		0,00855	0,99654			#DIV/0!
0	28		0,00836	0,99626			#DIV/0!
0	29		0,00818	0,99597			#DIV/0!
0,001073394	30	105,3	0,008	0,99568	9,6633	24,09	0,002687515

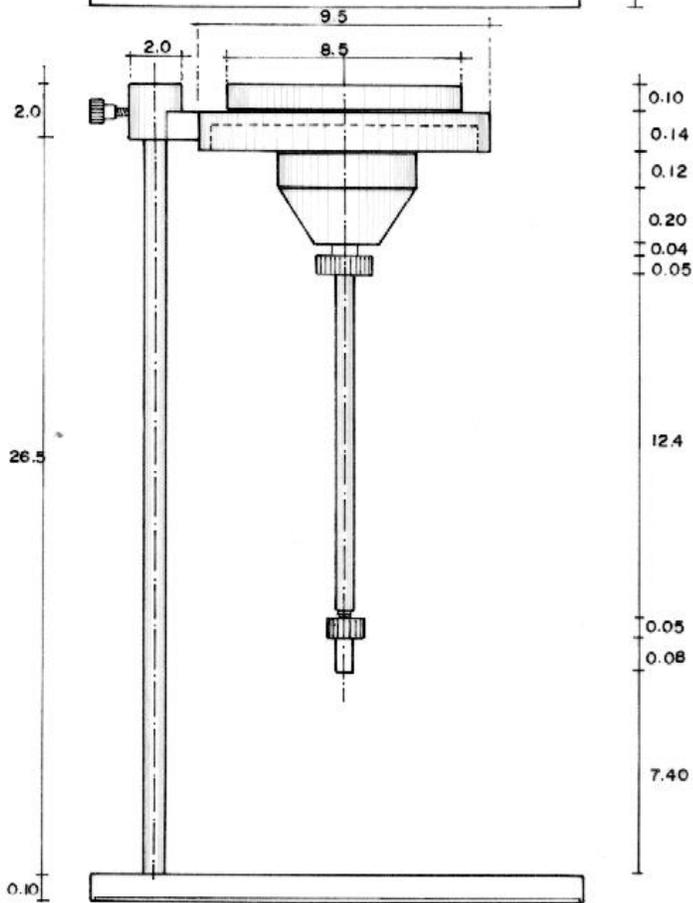
CUADRO NUMERO 2,**Calculo del Gradiente de velocidad y El esfuerzo Cortante**

Viscosidad	tiempo	temperatura	Gradiente de velocidad	Esfuerzo cortante	Caudal
0,006981755	64,91	4	7,28224E-15	5,08428E-17	1,69465E-06
0,006924036	64,315	8	7,34961E-15	5,0889E-17	1,71033E-06
0,003564915	32,28	15	1,46434E-14	5,22026E-17	3,40768E-06
0,002687515	24,09	30	1,96218E-14	5,2734E-17	4,56621E-06

PLANTA



VISTA



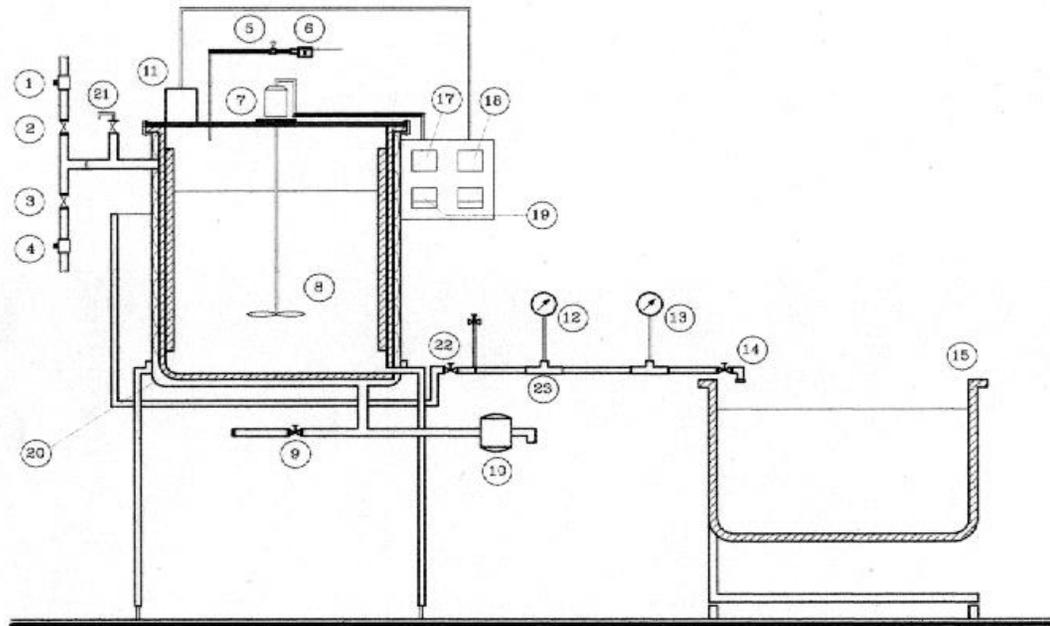
MEDIDA EN CENTIMETROS

INFORME PRACTICA LABORATORIO- REOLOGIA UNAD - PASTO

VISCOSIMETRO

PARA FLUIDOS DERIVADOS LACTEOS -COLACTEOS

PLANO DE EQUIPO PILOTO Y VISCOSIMETRO TUBO



23	TUBO DE VENTRO
22	VALVULA DE SEGURIDAD A 25 PSI
21	VALVULA MANUAL DE BOLA DE $\phi 3/4"$
20	TANQUE TERMCAISLADO CON CAMARA
19	CONTROL TEMPREATURA
18	CONTROL DE TIEMPO
17	CONTROL VARIADOR VELCC.
16	BASCULA DE 0-20Kgm
15	TANQUE RECEP.15LT
14	GRIFO ACERO INOX. DE $\phi 3/4"$
13	MANOMETRO 2 0-25 Mbr
12	MANOMETRO 1 0-25 Mbr
11	TERMOCUPLA FT 100
10	TRAMPA DE VAPOR $\phi 1/2"$
9	VALVULA DE GLOBO PARA VAPOR DE $\phi 1/2"$
8	AGTADOR DE 4 ASPAS
7	MOTOR DE 0,4 HP-110VOLT.
6	FILTRO SECADOR DE AIRE
5	REGULADOR DE AIRE DE $\phi 1/2"$ DE 10 A 80 PSI
4	ELECTRO VALVULA DE $\phi 1/2"$ PARA VAPOR
3	VALVULA DE $\phi 1/2"$ PARA VAPOR GLOBO
2	VALVULA DE $\phi 1/2"$ PARA VAPOR GLOBO
1	ELECTRO VALVULA DE $\phi 1/2"$ PARA VAPOR

UNAD-ESPECIALIZACION
PRODUCCION ALIMENTOS

PLANO DE EQUIPO PILOTO
Y VISCOSIMETRO TUBO

DIBUJO : KATHI LUNA

FIGURA :
ANEXO

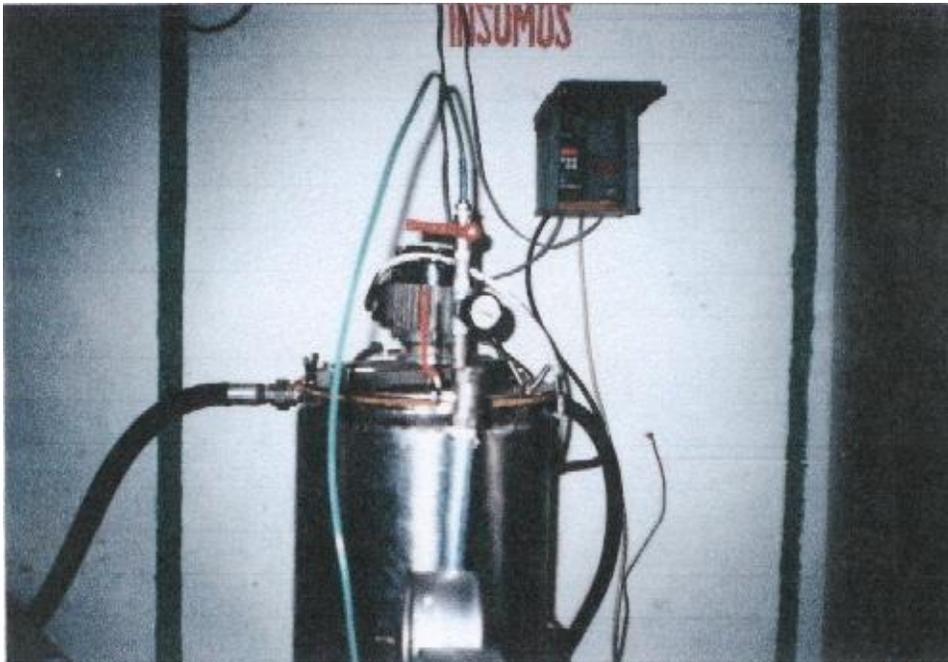
GUILLERMO LUNA

2

ESCALA :
1 : 75

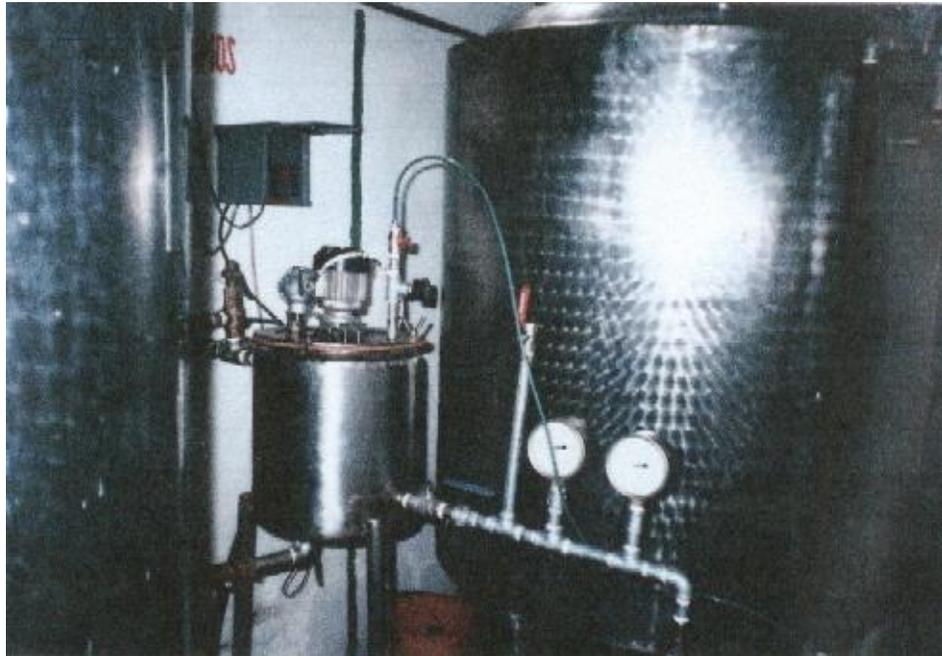
ANEXO 3

FOTOGRAFÍAS DEL EQUIPO CONSTRUIDO



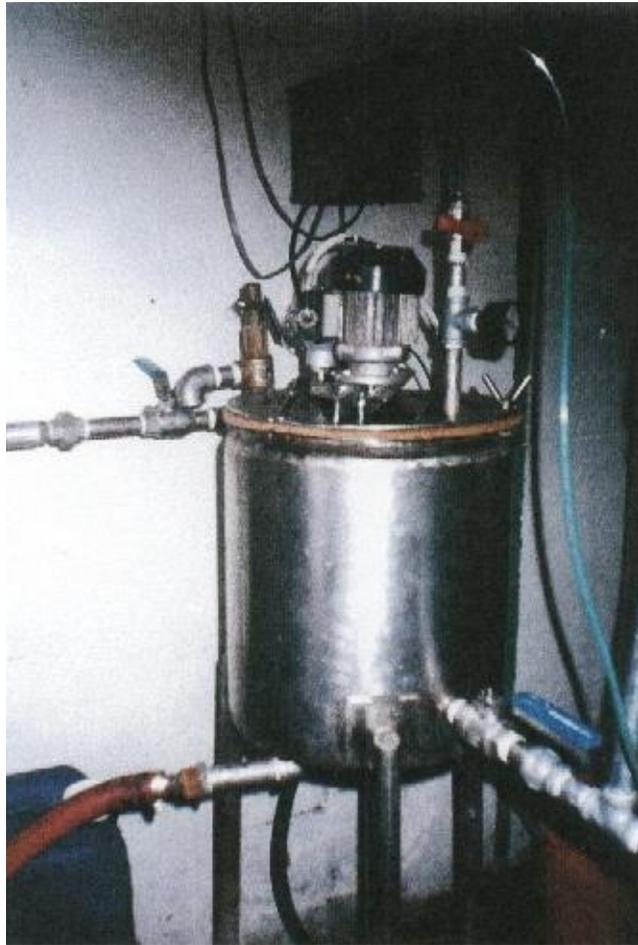
ANEXO 3

FOTOGRAFÍAS DEL EQUIPO CONSTRUIDO



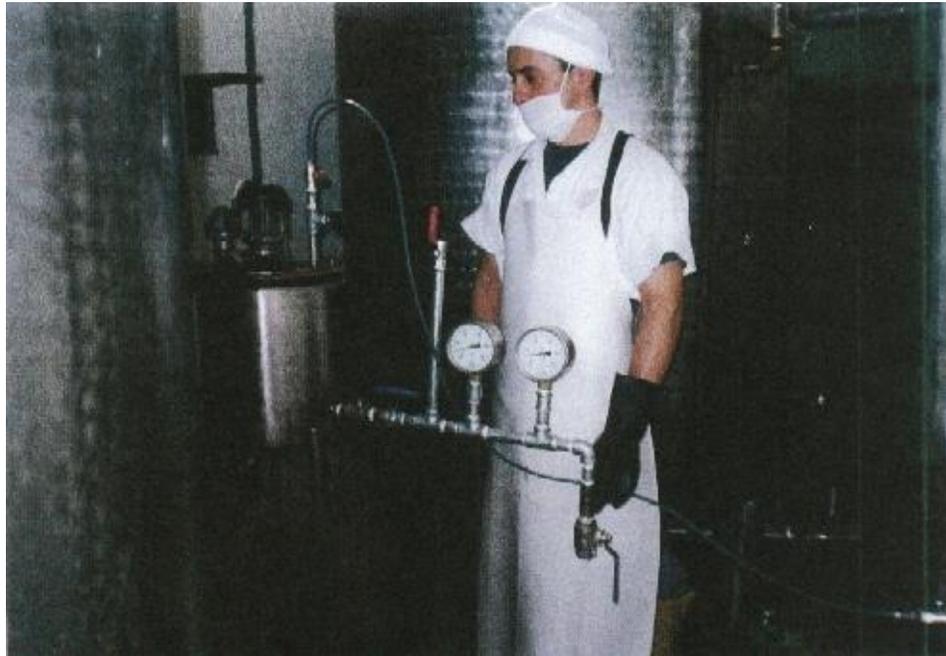
ANEXO 3

FOTOGRAFÍAS DEL EQUIPO CONSTRUIDO



ANEXO 3

FOTOGRAFÍAS DEL EQUIPO CONSTRUIDO



Anexo 4

TABLA VISCOSIDAD ABSOLUTA DEL AGUA

Temperatura °C	Densidad ρ Gr/cm ³	Viscosidad	
		Absoluta m g masa/cm.s Poises)	Cinemática = $V=\mu/\rho$ Cm ² /s
0	0.99987	0.01792	0.01792
1	0.99993	0.01732	0.01732
2	0.99997	0.01674	0.01674
3	0.99999	0.01619	0.01619
4	1.00000	0.01568	0.01568
5	0.99999	0.01519	0.01519
6	0.99997	0.01473	0.01473
7	0.99993	0.01429	0.01429
8	0.99988	0.01387	0.01387
9	0.99981	0.01348	0.01348
10	0.99973	0.01310	0.01310
11	0.99963	0.01274	0.01274
12	0.99952	0.01239	0.01240
13	0.99940	0.01206	0.01206
14	0.99927	0.01175	0.01176
15	0.99913	0.01145	0.01146
16	0.99897	0.01116	0.01117
17	0.99880	0.01088	0.01089
18	0.99862	0.01060	0.01061
19	0.99843	0.01034	0.01036
20	0.99823	0.01009	0.01010
21	0.99802	0.00984	0.00986
22	0.99780	0.00961	0.00963
23	0.99757	0.00938	0.00940
24	0.99753	0.00916	0.00919
25	0.99707	0.00895	0.00897
26	0.99681	0.00875	0.00877
27	0.99654	0.00855	0.00858
28	0.99626	0.00836	0.00839
29	0.99597	0.00818	0.00821
30	0.99568	0.00800	0.00804

Anexo 5
Coefficientes totales aproximados de
Transferencia térmica (u)

Trabajo	Coeficiente total (btu / hr pie ^{30f})
Vapor de agua a agua	
Calentador instantáneo	400 – 600
Calentador con tanque de almacenamiento	175 - 300
Vapor de agua a aceite	
Combustible pesado	10 – 30
Combustible ligero	30 – 60
Petróleo ligero destilado	50 – 200
Vapor de agua a solución acuosa	100 – 600
Vapor de agua a gases	5 – 50
Agua a aire comprimido	10 – 30
Agua a agua, enfriadores de agua	150 – 275
Agua a aceite lubricante	20 – 60
Agua a vapores de aceites condensantes	40 – 100
Agua a alcohol condensante	45 – 120
Agua a freón 12 condensante	80 – 150
Agua a amoniaco condensante	150 – 250
Agua a solventes orgánicos como alcohol	50 – 150
Agua a freón 12 en ebullición	50 – 150
Agua a gasolina	60 – 90
Agua a aceite gasificado o destilado	35 – 60
Agua a salmuera	100 – 200
Orgánicos ligeros a orgánicos ligeros	40 – 75
Orgánicos medios a orgánicos medios	20 – 60
Orgánicos pesados a orgánicos pesados	10 – 40
Orgánicos pesados a orgánicos ligeros	10 – 60
Aceite crudo a aceite gasificado	30 – 55

FUENTE . A.C Muller, “ Termal Desing of Shell-and Tube Heat Exchangers for Liquid to-Liquid Heat Transfer” Eng Bull, Res. Ser. 121, Purdue Univ. Eng. Exp. Sta, 1954.

**PROPUESTA PARA EL MEJORAMIENTO DE LA LÍNEA DE
PRODUCCIÓN DE YOGUR, EN LA PLANTA PROCESADORA – ARANDA
– COOPERATIVA DE PRODUCTOS LÁCTEOS DE NARIÑO**

**GUILLERMO BOLÍVAR LUNA GUERRERO
KATHY PATRICIA LUNA GÓMEZ**

**UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA
UNAD - U. CAMPINAS
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA DE PROCESOS DE ALIMENTOS
Y BIOMATERIALES
SAN JUAN DE PASTO
2002**

**PROPUESTA PARA EL MEJORAMIENTO DE LA LÍNEA DE
PRODUCCIÓN DE YOGUR, EN LA PLANTA PROCESADORA – ARANDA
– COOPERATIVA DE PRODUCTOS LÁCTEOS DE NARIÑO**

**GUILLERMO BOLÍVAR LUNA GUERRERO
KATHY PATRICIA LUNA GÓMEZ**

**Trabajo presentado como requisito para optar al título de
Especialistas en Ingeniería de Procesos de Alimentos y
Biomateriales**

**UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA
UNAD - U. CAMPINAS
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA DE PROCESOS DE ALIMENTOS
Y BIOMATERIALES
SAN JUAN DE PASTO
2002**

NOTA DE ACEPTACIÓN

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

San Juan de Pasto, 12 de diciembre de 2002

GLOSARIO

DELVOCID: Sustancia anti micotica, contiene el 50 % de natamycin

°DORNIC: Medida de acidez, obtenida por la titulación de 100 ml de leche con N/9 NaOH, usando fenoftalina como indicador, normalmente los valores de la leche están cerca de 15 °D.

ESTANDARIZACION: Elaborar patrones, normas o referencias con el fin de obtener resultados homogéneos.

SIMULACIÓN: Fingir una actividad o situación. En este caso fingir las circunstancias de los procesos de producción reales para observar sin incurrir en pérdidas o daño al producto real.

TONELADAS DE REFRIGERACIÓN (TR): Medida de transferencia térmica muy usada en refrigeración industrial equivale a 3024 Kcal / hora, igual 12000 BTU / hora ó a 3516 KW.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	3
OBJETIVO GENERAL	3
OBJETIVO ESPECIFICO	3
1. EVALUACIÓN DEL PROCESO	5
1.1 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA	5
1.1.1 Objetivos Generales de la Empresa	6
1.1.2 Generalidades de la planta	6
1.1.3 Distribución de la planta	6
1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO ACTUAL	9
1.3 EVALUACIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DEL YOGUR	9
2. DISEÑO DEL EQUIPO	14
2.1 OBJETIVOS	14
2.2 BASES TEÓRICAS	14
2.2.1 Descripción del tipo de instrumentos reológicos comunes	15
2.2.2 Selección del tipo de viscosímetro	16
2.3 DESCRIPCIÓN DEL VISCOSÍMETRO DE TUBERÍA	17
2.3.1 Descripción del Equipo	17
2.3.2 Descripción del Método de medida y los parámetros	18
2.4 CÁLCULO DEL REACTOR	20
2.4.1 El volumen al procesar	20
2.4.2 Cálculo de transferencia de calor del reactor	21
2.4.3 Cálculo de la cantidad de vapor requerido	23
2.4.4 Cálculo del sistema de mezclado	25

2.4.4.1	Selección del tipo de flujo	25
2.4.4.2	Selección tipo de Rodete	26
2.4.4.3	Relaciones Geométricas	27
2.5	SELECCIÓN DE LOS CONTROLES DEL VISCOSÍMETRO	29
2.5.1	Control de la temperatura	29
2.5.2	Control de la velocidad de agitación	
2.5.3	Cálculo de la potencia	30
2.6	SELECCIÓN DEL SISTEMA DE MEDICIÓN DEL DIFERENCIAL DE PRESIÓN	30
2.7	SELECCIÓN DEL DIÁMETRO Y LONGITUD DEL TUBO	30
2.8	SISTEMA DE PRESIÓN EN EL REACTOR PARA VACIADO DE PRODUCTO	32
2.9	PRESUPUESTO	32
2.10	CONSTRUCCIÓN Y PUESTA EN MARCHA	33
2.10.1	Etapa 1. Construcción del reactor	33
2.10.2	Etapa 2. Selección y Montaje de los instrumentos de medida	34
2.10.2.1	Selección del medidor del diferencial de presión	34
2.10.2.2	Selección de los sistemas de medición y temperatura y control y registro de velocidad angular	34
2.10.3	Puesta en marcha	35
2.10.4		
2.11	AJUSTES DEL ERROR	36
3.	DIAGNOSTICO DEL PROCESO DE YOGUR	38
3.1	DETERMINACIÓN Y EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL PROCESO EFECTUADO ACTUALMENTE EN REACTORES DE 1500 Y 1800 LITROS Y POSTERIORMENTE EN COMPORTAMIENTO REOLÓGICO USANDO EL REACTOR PILOTO	38
3.1.1	Metodología	38
3.1.2	Evaluación del comportamiento tiempo – temperatura en los	

Reactores	38
3.1.2.1 En la gráfica se observan 5 etapas	40
3.1.2.2 Ninguna corresponde exactamente a la otra	40
3.1.2.3 Las pendientes en la etapa 1 de calentamiento	40
3.1.2.4 Etapa 3 de enfriamiento	41
3.1.2.5 Etapa 4 se observa	41
3.1.2.6 Etapa 5, la pendiente	41
3.1.3 Determinación de la viscosidad obtenida en un bache de sustrato común en los reactores	41
3.1.3.1 Análisis de resultados	41
3.1.4 Determinación del comportamiento	42
3.2 SIMULACIÓN DE PROCESOS PARA DETERMINAR LAS VARIABLES SIGNIFICATIVAS CON EL FIN DE ESTANDARIZAR EL PRODUCTO	43
3.2.1 Curva de Temperatura VS Viscosidad	46
3.2.2 Curva de velocidad angular Vs. Viscosidad	46
3.2.3 Curva de Acidez Vs Viscosidad	48
3.2.4 Curva de acidez vs tiempo	48
3.2.4.1 Evaluación del ensayo	50
4. DISEÑO DEL NUEVO PROCESO DE YOGUR	55
4.1 SELECCIÓN DE LOS PARÁMETROS A CONTROLAR EN LOS PROCESOS DE PRODUCCIÓN DEL YOGUR COLACTEOS	55
4.2 DIAGRAMA DE FLUJO PROPUESTO	55
4.3 DISEÑO DE INTERCAMBIADORES DE CALOR	58
4.3.1 Diseño del precalentador	58
4.3.1.1 Parámetro de diseño	58
4.3.1.2 Cálculo de la carga térmica	58
4.3.1.3 Calor a transferir	59
4.3.1.4 Cálculo del área aproximada	59
4.3.1.5 Cálculo MLDT segundo paso	61

4.3.2	Diseño del Sistema enfriador	62
4.3.2.1	Carga térmica	62
4.3.2.2	Primera etapa	62
4.3.2.3	Segunda etapa	63
4.3.2.3.1	Carga térmica	63
4.4	ADECUACIONES TÉCNICAS PROPUESTAS A LOS REACTORES	
	ACTUALES	65
4.4.1	Cambio de sistema de agitación	65
4.4.2	Control de velocidad	65
4.4.3	Instalar a cada reactor un sensor, indicador y controlador de Temperatura	65
4.4.4	Instalar un transmisor de ph descrito	67
5.	DISEÑO DE PROCESAMIENTOS Y CONTROLES DE PROCESOS Y ASEGURAMIENTO DE CALIDAD	70
5.1	DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO	70
5.2	NORMAS DE SEGURIDAD	70
5.3	MEDICIÓN DE LA VISCOSIDAD ABSOLUTA	70
5.3.1	Efectuar limpieza, desinfección, escurrido y secado	71
5.3.2	Llenado de tanque	72
5.3.3	Revisión de manómetros	72
5.3.4	Observación de temperatura	72
5.3.5	Abrir la válvula	72
5.3.6	Pesar en la báscula	72
5.3.7	Colocar cronómetro en 0	72
5.3.8	Pesar la muestra recolectada en recipiente	73
5.3.9	Pesar la muestra recolectada 250 cm cúbicos	73
5.4	PROCEDIMIENTO PARA PROCESAR LA INFORMACION PARA EL CALCULO DE LA VISCOSIDAD	73
5.4.1	Fórmula a emplear	73
5.4.2	Preliminares	73

5.4.3 Cálculo de la densidad	73
PROCEDIMIENTO PARA EL USO DEL EQUIPO EN LA SIMULACIÓN DEL PROCESO	75
5.4.3 Procedimiento para el uso del reactor para pruebas controlando la acidez del sustrato	75
6. EVALUACIÓN ECOLÓGICA DEL PROCESO DE YOGUR	77
6.1 MATERIALES Y MÉTODOS	78
6.2 DEFINICIÓN DE LOS SISTEMAS A DESARROLLAR	78
6.2.1 Línea de proceso de elaboración del yogur en forma artesanal	79
6.2.1.1 Línea de flujo	80
6.2.2 Línea de proceso de elaboración de yogur en forma industrial	81
6.2.1.1Línea de flujo	82
6.3 DIAGRAMA DE FLUJO AGROPECOLOGICO	83
6.4 BALANCE EMERGÉTICO DEL PROCESO DE YOGUR	83
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	87
BIBLIOGRAFÍA	91
ANEXOS	93

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Productos de Planta Aranda	7
Tabla 2. Pautas de elaboración de yogur bolsa Colácteos	12
Tabla 3. Geometrías de los reactores	21
Tabla 4. Variación de la viscosidad	37
Tabla 5. Cálculo de la viscosidad	42
Tabla 6. Determinación del esfuerzo y la deformación para el yogur Bolsa Colácteos de la misma muestra sometida a diferentes Esfuerzos	43
Tabla 7. Variación de la viscosidad de una sola muestra vs. La temperatura, se mantienen constantes los otros factores.	46
Tabla 8. Variación de la velocidad vs. La viscosidad en un yogur De 57 grados Dornic y 18 grados centígrados	48
Tabla 9. Variación de la viscosidad vs. La acidez, muestra yogur Inoculado a 44 grados centígrados y posteriormente agitado a 100 rpm	50
Tabla 10. Características del sustrato	54
Tabla 11. Cálculo de viscosidad del producto elaborado	76
Tabla 12. Evaluación de los flujos de energía	84
Tabla 13. Características del yogur bolsa Colácteos como producto terminado	86

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Colácteos – Planta Aranda	8
Figura 2. Diagrama de Proceso Yogur Bolsa	10
Figura 2b. Diagrama flujo yogur bolsa	11
Figura 3. Instrumentos reológicos comunes divididos en dos categorías Generales: Rotacional y tipo tubo	15
Figura 4. Gas drive pipe viscometer	18
Figura 5. Condiciones de trabajo de los reactores	23
Figura 6. Flujo circular en un tanque sin deflectores	26
Figura 6a. En tanque con deflectores rodete de flujo radial	26
Figura 6b. En tanque con deflectores t rodete flujo axial	27
Figura 7. Selección tipo de rodete	27
Figura 8. Relaciones geométricas	28
Figura 9. Diagrama control automático de temperatura	29
Figura 10. Comportamiento reactor de 1800 y 1600 lits. en proceso De yogur	39
Figura 11. Esfuerzo deformación para yogur Colácteos	44
Figura 12. Esfuerzo vs. Deformación para yogur Colácteos	45
Figura 13. Gráfica viscosidd vs. Temperatura de una muestra de Yogur Colácteos	47
Figura 14. Gráfica velocidad angular vs viscosidad	50

Figura 15. Gráfica viscosidad vs. Acidez	51
Figura 16. Curva acidez vs. Tiempo para evaluar el cultivo del Yogur Colácteos	52
Figura 17. Tiempo	53
Figura 18. Gráfica comportamiento tiempo temperatura propuesto Para la producción del yogur bolsa Colácteos por cada 1000 producción	56
Figura 19. Intercambidor de calor	66
Figura 20. Sistema de agitación propuesto para el tanque de Proceso de yogur	68

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Aplicación del Viscosímetro tubular , en la valoración de la Viscosidad del yogur Colácteos.	94
Anexo 2. Plano de Equipo y Viscosímetro – tubo	102
Anexo 3. Fotografías	103
Anexo 4. Tabla viscosidad absoluta	107
Anexo 5. Coeficientes totales aproximados	108

**PROPUESTA PARA EL MEJORAMIENTO DE LA LÍNEA DE
PRODUCCIÓN DE YOGUR, EN LA PLANTA PROCESADORA – ARANDA
– COOPERATIVA DE PRODUCTOS LACTEOS DE NARIÑO**

**GUILLERMO BOLIVAR LUNA GUERRERO
KATHY PATRICIA LUNA GOMEZ**

**Trabajo presentado como requisito para optar al título de
Especialistas en Ingeniería de Procesos de Alimentos y
Biomateriales**

**UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA
UNAD - U. CAMPINAS
ESPECIALIZACION EN INGENIERIA DE PROCESOS DE ALIMENTOS
Y BIOMATERIALES
SAN JUAN DE PASTO
2002.**

RESUMEN

En el departamento de Nariño el común denominador a nivel de implementación de fabricas de producción de alimentos es hacer primero los procesos para satisfacer una OPORTUNIDAD en el mercado, elaborar los productos, ajustar el proceso y mantener la producción a través de una labor repetitiva, transmitiendo el conocimiento de las pautas con el uso del lenguaje oral. Si el producto es exitoso se incrementa poco a poco su mercado y por lo tanto la infraestructura se amplía desordenadamente y con el único fin de suplir la necesidad. Esto hace que los procesos establecidos NO sean planeados, documentados, ni diseñados bajo normas o conceptos de Ingeniería, entre otros, generando productos no estandarizados, con procesos ineficientes y de poca trazabilidad (no se puede seguir el rastro de los problemas) que ponen en riesgo la calidad del producto.

Lo anterior no fue del todo ajeno a la historia del producto yogur bolsa Colácteos, aunque en la actualidad se goza de mayores garantías técnicas que las descritas, es importante mejorar aún muchos aspectos, por esto nos proponemos implementar una metodología encaminada a cambiar la forma empírica actual de observar los procesos, por parte de los técnicos responsables de los mismos, mediante la aplicación de este trabajo el cual expone el uso de una herramienta científica poco usada en la observación de los comportamientos de los alimentos, como es la Reología, demostrando que las bases teóricas suministradas por la ingeniería de alimentos son de fácil aplicación para rediseñar y corregir procesos que están en funcionamiento, potencializando sus bondades y minimizando o eliminando sus defectos, basados en el aseguramiento del control adecuado de los

procesos, para que estos sean mas confiables y más eficientes, con el manejo apropiado de las limitaciones del entorno como son la baja disponibilidad de presupuestos y el bajo impulso a la investigación.

Lo anterior redundará en beneficios económicos ya que los procesos eficientes son menos costosos, los procesos controlados son menos riesgosos disminuyendo pérdidas por devoluciones y los procesos documentados permiten una permanente evolución y perfeccionamiento.

Con los conceptos teóricos adquiridos en la especialización, buscamos una aplicación práctica sobre un proceso específico como es el de la obtención del Yogur bolsa marca Colácteos, uno de los productos elaborados por la Empresa Cooperativa de Productos Lácteos de Nariño Ltda. COLACTEOS.

Al realizar un seguimiento y evaluación a la línea de proceso de yogur sobre uno de los comportamientos reológicos como es la viscosidad, se encontró con sorpresa que no existen datos sobre tal información, evaluando las causas se encontró que no hay conciencia sobre el valor de dicha información y que la Empresa no tenía la infraestructura adecuada para las pruebas reológicas, contando solamente con un viscosímetro de tubo en desuso. En el momento de efectuar las pruebas se observó que la densidad del yogur usado como muestra era diferente para cada uno de los ensayos, a pesar de mantener las mismas condiciones en cada uno de ellos variando únicamente el origen de la muestra, la cual se obtenía de diferentes baches. Esto puso en evidencia la falta de estandarización en la calidad del producto. al investigar las causas se observó lo siguiente: Ausencia de un procedimiento estándar. Falta de control detallado de los parámetros de proceso y su documentación, Los equipos en los que se procesa no cuentan con controles adecuados, Los equipos son de diversas características generando diversas condiciones de proceso, No existe

ninguna caracterización reológica de este producto, Todo lo anterior justifica este estudio y la implementación de una metodología y un programa para subsanar las fallas detectadas.

Para formular la propuesta para el mejoramiento de la línea de producción de yogur, se diseño y construyó un VISCOSÍMETRO de línea y un REACTOR PILOTO a escala de los que actualmente se usan en el proceso, buscando un costo asequible, (Capitulo 2) , Los viscosímetros de tubería son construidos en el sitio, algunos pueden ser pequeños con 7 mm de diámetro hasta de 12 mm, los valores entre 12 – 32 mm no son comunes en aplicaciones de alimentos, Se debe trabajar con tubos largos y de mayor diámetro para reducir los efectos de pérdida de presión adicional debida a la entrada del tubo, a la salida del tubo y a la salida de la energía cinética y a los efectos de deslizamiento en la pared, ya que debido a la migración de partículas alejándose de la pared del tubo se obtiene un flujo mayor que el que se obtendría si no existiera deslizamiento siendo este efecto mas pronunciado en tubos pequeños.

En el mejoramiento continuo de los procesos es importante conocer la caracterización reológica del producto y los parámetros que la afectan, por esta razón es indispensable tener a disposición un viscosímetro que permita mediciones prácticas fáciles y precisas, pero este instrumento por sí solo no cumplirá su objetivo, ya que el estudio requiere la simulación de situaciones que representen las condiciones reales de operación, por esta razón es indispensable dotar de un reactor en lo posible a escala, en el cual se podrá copiar el proceso, sin tener que arriesgar altas cantidades de materia prima y sin perder el control de las variables que afectan al mismo.

El reactor se diseña con el fin de replicar las condiciones que se presentan en los procesos reales y abarcan tres aspectos, como son el volumen a

procesar, la transferencia de calor, similar a la observada en el proceso real y controlable, y que el sistema de agitación proporcione las mismas condiciones.

Y con el cual se efectuó un procedimiento de caracterización reológica del producto (Capítulo 3). Al analizar detenidamente cada uno de los procesos efectuados en planta, haciendo énfasis en el proceso de yogur, se determinó que los estudios se deben concentrar en el yogur para empacar en bolsa dado que este copa un 70 % de la producción.

La Planta trabaja esta línea con un reactor cuya capacidad de producción es de 1800 litros y una velocidad en su agitador de 45 rpm y un reactor cuya capacidad de producción es de 1500 litros y una velocidad en su agitador de 30 rpm; estos se trabajan en turnos de 10 horas manejados por dos operarios en cada turno los cuales elaboran el producto simultáneamente obteniéndose baches de producción de 3300 litros de yogur cada turno.

Para determinar en forma clara que pasos se efectuaba en la obtención de cada bache se efectuó un seguimiento de una semana, controlando las temperaturas cada 15 minutos, con el fin de visualizar cada proceso en su ejecución, observando si es o no estandarizado.

Posteriormente se determinó la viscosidad obtenida en el reactor de 1800 litros y de 1500 litros procesando la misma leche y los mismos insumos con el fin de comprobar si existen variaciones en la viscosidad.

De los datos suministrados por este seguimiento y al realizar los respectivos análisis se observa que a medida que aumenta la temperatura disminuye la viscosidad, detallada en la fig 13, en lo que se refiere a la velocidad angular, a medida que se aumentan las revoluciones por minuto en el agitador

disminuye la viscosidad, ver fig 14, al igual que el comportamiento de la acidez Vs Viscosidad observado en la figura 15, como el comportamiento de la acidez Vs tiempo detallado en la fig 16.

De la evaluación detallada de los ensayos efectuados en este estudio y resumidos en el capítulo 3 se toman los factores más relevantes y posibles de poner en práctica para rediseñar el proceso con el fin de obtener un producto de viscosidades y proceso no tan variables (estandarización del proceso y el producto). Analizando detalladamente las gráficas que describen el comportamiento del yogur Colácteos , se concluye que Los factores a controlar para estandarizar la calidad reológica del producto son: Velocidad angular de corte del coagulo, Velocidad angular agitación para enfriamiento, Temperatura de inoculación, Tiempo de inoculación, Acidez del sustrato, Calidad del cultivo y su comportamiento, Características físico-químicas y micro biológicas del sustrato, Dado que actualmente no se posee un control detallado de las variables mencionadas, por la falta de instrumentos adecuados y condiciones en la infraestructura , se propone efectuar ajustes al proceso actual, referenciados en la fig 18, al igual que el diseño de intercambiadores de calor, como también las adecuaciones técnicas propuestas a los reactores actuales.

Investigando la incidencia de algunas variables físicas del proceso que afectan la calidad del yogur, con el fin de determinar que aspectos se deben cuidar en función de obtener un producto de las mismas características (estandarizado) para cada bache de producción y en forma mas eficiente (Capítulo 4 y 5), posteriormente se realiza el diseño de procedimientos y controles de procesos y aseguramiento de calidad, donde se condensa la metodología que se debe seguir, con el fin de operar correctamente el equipo piloto, efectuar simulación de procesos muy próximos a la realidad y la obtención de datos con bajo porcentaje de error.

Antes de operar el equipo se debe leer cuidadosamente el capítulo 5, el cual será el manual de operación, mantenimiento y seguridad del mismo.

Todos los procesos industriales marcan una significativa repercusión ecológica para el entorno, (capítulo 6) se hace referencia a los balances energéticos que implica y repercute esta actividad industrial al ecosistema y viceversa, este estudio se lo hace con el fin de establecer parámetros que permitan un manejo sostenible, la cual al aplicar los balances energéticos al proyecto se concluye que, La contribución de la naturaleza para los dos procesos artesanal y tecnificado es prácticamente la misma $5.8E15$ Sej / ha*año, la retroalimentación de la economía para el tecnificado es mayor que para el artesanal ($4.09E16 > 7.37E15$) y la energía incorporada por el sistema es mayor en el tecnificado que en el artesanal ($4.77E16 > 1.32E16$).

Para finalizar se propone un plan de trabajo con el fin de ampliar y mejorar este estudio sugiriendo un rediseño preciso del proceso controlando las variables detectadas (Capítulo 7 y 5).

A la puesta en marcha de el equipo piloto y el desarrollo de los correspondientes análisis al yogur y de la observación de los resultados de los ensayos efectuados para esta investigación se llego a la conclusión de que el viscosímetro de tubería con el reactor a escala construidos y empleados para este estudio presenta buena versatilidad ya que en él se pueden efectuar simulaciones de procesos y determinaciones rápidas de la viscosidad a bajo costo; pero presenta un error superior al 2% variando esta exactitud; debido a que el equipo posee variables como; temperatura, velocidad angular, tiempo de evacuación de la muestra, diferencia de presión, caudal volumétrico, peso de la muestra, y observación del operario; que requieren un ajuste y operación disciplinados.