

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA



ESTUDIO EXPERIMENTAL DEL PROCESO DE
PRODUCCION DE ALCOHOL A PARTIR DEL
JUGO DE NARANJA (CITRUS SINENSIS),
POR FERMENTACION ENZIMATICA

T E S I S

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE

INGENIERO QUIMICO

Julio César Campos Ruiz

Luis Alberto Cerquín Ríos

LIMA-PERU

1 9 9 3

INDICE

	<u>PAG.</u>
I. INTRODUCCION	18
II. FUNDAMENTO TEORICO	20
2.1 CARACTERISTICAS GENERALES DE LA NARANJA	23
2.2 VARIACIONES FISICO-QUIMICAS EN LA MADURACION DE LA NARANJA	28
2.3 VARIEDADES DE LA NARANJA	31
2.4 PROPIEDADES FISICO - QUIMICAS DEL FRUTO	36
2.5 ALMACENAJE Y CONSERVACION DEL FRUTO DE LA NARANJA	40
2.6 PRODUCCION DE NARANJAS EN EL PERU	43
2.7 DESCRIPCION DE LAS UNIDADES EXPERIMENTALES	43
2.7.1 EQUIPOS Y MATERIALES EMPLEADOS	43
2.7.2 DESCRIPCION DE LA UNIDAD DE FERMENTACION	44
2.7.3 DESCRIPCION DE LA UNIDAD DE DESTILACION	46
2.8 DESCRIPCION DEL PROCESO EXPERIMENTAL	46
2.9 MEDIDORES DE PROCESO	60
2.9.1 MEDIDORES DE PRESION	60
2.9.2 MEDIDORES DE TEMPERATURA	60

INDICE

	<u>PAG.</u>
2.9.3 MEDIDORES DE NIVEL	61
2.9.4 MEDIDORES DE OTRAS VARIABLES	62
2.10 CONTROL DE PROCESOS	62
2.10.1 DE LA FRUTA	62
2.10.2 DEL JUGO DE NARANJA	63
2.10.3 DE LA UNIDAD DE FERMENTACION Y DESTILACION	63
2.11 CONTROL DE CALIDAD	65
2.11.1 DE LA FRUTA	65
2.11.2 DEL JUGO DE NARANJA	67
2.11.3 DEL ALCOHOL	69
III. OPERACIONES UNITARIAS Y PROCESOS	70
3.1 TRATAMIENTO DE LA FRUTA	70
3.2 PREPARACION DEL MEDIO ENZIMATICO (CULTIVO)	73
3.3 INOCULACION DEL CULTIVO EN EL FERMENTADOR	73
3.4 FERMENTACION ENZIMATICA	73
3.5 DESTILACION DEL FERMENTO	74
3.6 BALANCE DE MATERIA Y ENERGIA DEL PROCESO EXPERIMENTAL	75
3.6.1 BALANCE DE MATERIA	75
3.6.2 BALANCE DE ENERGIA	80

INDICE

	<u>PAG.</u>
3.7 CALCULO DEL COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERENCIA DE CALOR Y CALCULO DEL CALOR PERDIDO EN EL CONDENSADOR	82
IV. INGENIERIA DE PROCESOS	84
4.1 DETERMINACION DE LAS VARIABLES DE OPERACION	84
4.1.1 DE LA ENZIMA	84
4.1.2 DEL JUGO DE NARANJA DE FRUTA	84
4.1.3 DE LA UNIDAD DE FERMENTACION	85
4.1.4 DE LA UNIDAD DE DESTILACION	85
4.2 EVALUACION Y ANALISIS DE LAS VARIABLES DE PROCESO	91
4.2.1 DEL FRUTO DE NARANJA	91
4.2.2 DEL FERMENTO Y UNIDAD DE FERMENTACION	92
4.2.3 DE LA UNIDAD DE DESTILACION	93
V. RESULTADOS OPTIMOS EXPERIMENTALES	95
5.1 RESULTADOS EN LA ENZIMA	95
5.2 RESULTADOS DE LA NARANJA	95
5.3 RESULTADOS OPTIMOS DEL JUGO DE NARANJA	96
5.4 DEL FERMENTO	96
5.5 DEL DESTILADO	97
5.6 DEL AGUA DE ENFRIAMIENTO	97

INDICE

	<u>PAG.</u>
VI. ANALISIS DE LOS RESULTADOS EXPERIMENTALES	98
6.1 PERSPECTIVA DE INDUSTRIALIZACION DE LOS CONSTITUYENTES DEL FRUTO DE LA NARANJA	98
6.2 ANALISIS DE LA ENZIMA SACCHARAMYCES TIPO MONTRACHEW	99
6.3 ANALISIS DE LA MATERIA PRIMA	100
6.4 ANALISIS DEL JUGO	100
6.5 ANALISIS DE LA FERMENTACION ENZIMATICA	105
6.6 ANALISIS DEL DESTILADO	106
VII. ESCALAMIENTO A PLANTA COMERCIAL	107
7.1 INTRODUCCION	107
7.2 FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA	107
7.3 CAPACIDAD DE PROCESAMIENTO DIARIO	108
7.4 CAPACIDAD DE PRODUCCION DIARIA	108
7.5 RELACION DE EQUIPOS DISEÑADOS	109
7.6 DISEÑO DE INGENIERIA DE LOS EQUIPOS PARA LA PLANTA INDUSTRIAL	110
7.6.1 DISEÑO DE LA BOMBA CENTRIFUGA DE LAVADO (B _L)	110
7.6.2 DISEÑO DE LA PRENSA DE EXPRIMIDO (P _E)	111

INDICE

	<u>PAG.</u>
7.6.3 DISEÑO DE LA BOMBA CENTRIFUGA PARA EL JUGO (B1)	112
7.6.4 DISEÑO DEL PASTEURIZADOR CON AGITADOR (Pz)	113
7.6.5 DISEÑO DE LA BOMBA CENTRIFUGA DEL PASTEURIZADOR (B2)	118
7.6.6 DISEÑO DEL TANQUE DE CULTIVO (Tkc)	118
7.6.7 DISEÑO DE LA BOMBA CENTRIFUGA PARA EL JUGO DE GRADO BRIX CORREGIDO (B3)	118
7.6.8 DISEÑO DEL CALDERIN (REBOILER) DEL DESTILADOR (CD)	119
7.6.9 DISEÑO DEL CONDENSADOR HORIZONTAL (Co)	124
7.6.10 DISEÑO DE LA BOMBA CENTRIFUGA PARA EL TRASVASE DEL FERMENTADOR AL DESTILADOR (B4)	130
7.6.11 DISEÑO DEL TANQUE RECEPTOR DE ALCOHOL (Tka)	130
7.6.12 DISEÑO DEL TANQUE DE AGUA DE ENFRIAMIENTO (TkH)	131
7.6.13 DISEÑO DE LA BOMBA CENTRIFUGA PARA EL AGUA DE ENFRIAMIENTO	

INDICE

	<u>PAG.</u>
DEL CONDENSADOR (B5)	131
7.6.14 DISEÑO DEL FERMENTADOR ADIABATICO (FA)	132
7.6.15 DISEÑO DEL CALDERO (Ca)	133
7.6.16 DISEÑO DEL EXTRACTOR POR ARRASTRE DE VAPOR (Ev)	133
7.6.17 DISEÑO DEL SECADOR PARA HARINA Y PECTINA (S)	134
7.6.18 DISEÑO DEL MOLINO MICRO- PULVERIZADOR PARA HARINA Y PECTINA (M)	135
7.6.19 DISEÑO DE LA TAMIZADORA VIBRATORIA (Tv)	135
7.6.20 DISEÑO DEL REACTOR PARA PECTINA (Rp)	135
7.6.21 DISEÑO DEL TANQUE PARA PETROLEO (Tkp)	136
VIII. EVALUACION ECONOMICA DEL PROYECTO INDUSTRIAL	138
8.1 RESUMEN	138
8.1.1 ACTIVIDAD ECONOMICA	138
8.1.2 REGIMEN LABORAL	138
8.1.3 TIEMPO DE IMPLEMENTACION DE LA PLANTA	138

INDICE

	<u>PAG.</u>
8.1.4 TASA INTERNA DE RETORNO DE LA INVERSION	138
8.1.5 UTILIDAD NETA ACUMULADA AL FINAL DE LOS 10 AÑOS	138
8.1.6 VALOR ACTUAL NETO	139
8.1.7 VALOR DE RESCATE DE LA PLANTA AL FINAL DE LOS 10 AÑOS	139
8.1.8 CAPACIDAD DE PROCESAMIENTO DE LA PLANTA	139
8.1.9 CAPACIDAD DE PRODUCCION DE PLANTA Y PRECIOS UNITARIOS DE COMERCIALIZACION	140
8.1.10 PRECIOS EN EL MERCADO NACIONAL DE LA NARANJA	141
8.1.11 INVERSION TOTAL DE CAPITAL	141
8.1.12 LOCALIZACION DE LA PLANTA INDUSTRIAL	141
8.1.13 TIEMPO DE RETORNO DE LA INVERSION	142
8.2 CRONOGRAMA DE IMPLEMENTACION DE LA PLANTA INDUSTRIAL	143
8.3 INVERSIONES DE CAPITAL	144

INDICE

	<u>PAG.</u>
8.3.1 INVERSIONES DE CAPITAL FIJO	145
8.3.1.1 EQUIPOS DE LABORATORIO	145
8.3.1.2 EQUIPOS DE PLANTA	146
8.3.2 CAPITAL DE TRABAJO	150
8.4 CRONOGRAMA DE DESEMBOLSO DE LA INVERSION	
TOTAL DE CAPITAL	152
8.5 ESTRUCTURA DEL VALOR DE VENTA DEL	
ALCOHOL	153
8.6 ESTRUCTURA DEL VALOR DE VENTA DEL	
ACEITE	154
8.7 ESTRUCTURA DEL VALOR DE VENTA DE LA	
PECTINA	155
8.8 ESTRUCTURA DEL VALOR DE VENTA DE LA	
HARINA	156
8.9 FLUJO DE CAJA MENSUAL PROYECTADO	157
8.10 ESTADO DE GANANCIAS Y PERDIDAS	164
8.11 FLUJO NETO DE FONDOS ANUAL DESCONTADO	165
8.12 VALOR ACTUAL NETO (VAN)	166
8.13 VALOR DE RESCATE DE LA PLANTA AL	
FINAL DE LOS 10 AÑOS (VR)	166
8.14 UTILIDAD NETA ACUMULADA AL FINAL DEL	
PROYECTO	166
8.15 TIEMPO DE RETORNO DE LA INVERSION	166

INDICE

	<u>PAG.</u>
8.16 TASA INTERNA DE RETORNO DE LA INVERSION (TIR)	166
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
ANEXOS	168
SIMBOLOGIA	203
BIBLIOGRAFIA	206

INDICE DE TABLAS

<u>Nº</u>		<u>PAG.</u>
1	COMPOSICION QUIMICA DE UNA LEVADURA COMUN	22
2	COMPOSICION QUIMICA APROXIMADA EN VITAMINAS, EN LAS DISTINTAS PARTES DE LA NARANJA	24
3	VALORES MINIMO Y MAXIMO DE LOS CONTENIDOS DE PECTINA DE LA NARANJA	26
4	INDICES DE REFRACCION DE SOLUCIONES DE AZUCAR POR MEDIO DEL REFRACTOMETRO, ABDF A 20 °C - SCHOMROOK	30
5	CARACTERISTICAS FISICO-QUIMICAS DE ALGUNAS VARIETADES DE NARANJAS CULTIVADAS, INDICE DE MADUREZ 7: 5	33
6	ANALISIS FISICO - QUIMICO PROMEDIO DEL JUGO DE LA NARANJA, VARIEDAD VALENCIA	37
7	COMPOSICION QUIMICA PROMEDIO DEL ZUMO DE NARANJAS	38
8	COMPOSICION QUIMICA DEL FRUTO (JUGO) DE NARANJAS QUE SE CULTIVAN EN EL PERU, MUESTRAS DE 100 GRAMOS DE JUGO	39
9	TIPO DE ALMACENAMIENTO Y RENDIMIENTOS OPTIMOS DE NARANJAS	41
10	VOLUMENES DE INGRESO DE NARANJAS AL MERCADO MAYORISTA Nº 2 DE LIMA - PERU	42

INDICE DE TABLAS

	<u>PAG.</u>
11 DATOS EXPERIMENTALES DE LA COMPOSICION FISICA DE LA NARANJA, VARIEDAD VALENCIA SELVA	48
12 PROPIEDADES FISICO - QUIMICAS DEL JUGO PRENSADO	49
13 VARIACION DE LA TEMPERATURA EN FUNCION DEL TIEMPO DE FERMENTACION A DIFERENTES PH	50
14 DATOS EXPERIMENTALES DE VARIACION DE GRADOS BRIX (SOLIDOS SOLUBLES), GRADOS GAY LUSSAC, PORCENTAJE DE ALCOHOL, EN FUNCION DEL TIEMPO A DIFERENTES PH	53
15 DATOS EXPERIMENTALES DEL JUGO EN DIFERENTES ETAPAS	54
16 RESULTADOS EXPERIMENTALES DE LA DESTILACION DEL FERMENTO A PH = 4.0	55
17 RESULTADOS EXPERIMENTALES A PH OPTIMO	56
18 RESULTADOS EXPERIMENTALES DEL BALANCE DE MASA	57
19 RESULTADOS EXPERIMENTALES DE LAS VARIABLES DE DESTILACION	58
20 PROPIEDADES FISICAS EXPERIMENTALES DEL FERMENTO	59

INDICE DE FIGURAS

<u>Nº</u>		<u>PAG.</u>
1	LOCALIZACION DE LOS PRINCIPALES CONSTITUYENTES EN LOS VARIOS TIPOS DE NARANJAS	27
2	LACTONIZACION DE LA MONOLACTONA A DEL ACIDO LIMONOICO	34
3	ACIDO LIMONOICO - ACIDO 17 - DIHIDRO- LIMONOICO	35
4	UNIDAD EXPERIMENTAL DE FERMENTACION	45
5	DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA OBTENCION DEL ALCOHOL DEL JUGO DE LA NARANJA	52
6	VARIACION DE LA ACIDEZ VOLATIL CON EL TIEMPO A DIFERENTES PH	87
7	VARIACION DE LOS SOLIDOS SOLUBLES (GRADOS BRIX) EN FUNCION DEL TIEMPO (DIAS) PARA DISTINTOS PH DE TRABAJO	88
8	VARIACION DE LOS GRADOS GAY LUSSAC EN FUNCION DEL TIEMPO (DIAS) PARA DIFERENTES PH	89
9	VARIACION DE LA COMPOSICION, PORCENTAJE EN PESO EN EL FERMENTO, EN FUNCION DEL TIEMPO (DIAS) A DIFERENTES PH	90
10	CROMATOGRAMA DEL PRODUCTO FINAL	101
11	DIAGRAMA DEL PROCESO DE FABRICACION DE ALCOHOL A PARTIR DE LA NARANJA	137

RESUMEN

La presente investigación se realizó teniendo en cuenta los resultados obtenidos de las experiencias a nivel de Laboratorio.

A nivel de Laboratorio, se implementó un equipo, en la cual se determinó los requerimientos técnicos, para determinar los parámetros del jugo de naranja, y las variables de operación para la producción del alcohol a partir del jugo de naranja, por fermentación enzimática. Así mismo, se determinó las variables óptimas de operación, lo cual permitió realizar el escalamiento para el diseño de la Planta Comercial.

El diseño de Ingeniería de la Planta Comercial es para un proceso diario de 3,000 kg. de fruto de naranja; para una producción diaria de 481.286 Kg (al 32.8% en peso) de alcohol etílico (16.531 US. \$/gln), 5.46 Kg. de aceite esencial (65.00 US.\$/l), 27.33 kg. de pectina cítrica (19.165 US. \$/bols) y 148.45 kg. de harina de bagazo (29.162 US.\$/ saco).

Los resultados finales experimentales se obtuvieron trabajando, con la variedad de naranja nacional valencia selva, obteniéndose una composición de 47.64% en peso de jugo, y una concentración de alcohol de 14.10° GL, cuyo rendimiento fue de 15.83 grs. de azúcar invertida por 1°GL. Además se trabajó con la levadura (enzima) Saccharomyces

Cereviciae, variedad Ellipsoideus, tipo Montrachew, cuya concentración de enzima en el jugo fue 0.5 grs./l. jugo.

La Planta Comercial diseñada, requiere de una inversión total de capital de US. \$ 453,004, el tiempo de implementación de la Planta es de 08 meses y el tiempo de vida de 10 años.

Se ha determinado como localización de la planta comercial a Chanchamayo, La Merced (Junín).

El tiempo de recuperación de la inversión total de capital es de 11 meses, después del primer mes de venta de los productos.

La utilidad neta acumulada total es de US.\$ 2`404,905, al final de los 10 años del tiempo de vida del proyecto industrial.

La tasa interna de retorno de la inversión es de 29.224% anual en dólares EE.UU.

El valor actual neto de la inversión de capital es de US. \$ 358, 257, al final de los 10 años.

I. INTRODUCCION

La presente Tesis, tiene por finalidad, el estudio de la posibilidad de la industrialización de la naranja (*Citrus sinensis*), por ser la variedad más importante de los cítricos.

En la actualidad la naranja es procesada industrialmente, sólo en las presentaciones de jugos concentrados, mermeladas, empleando fundamentalmente las variedades de la zona de Selva.

El objetivo de la presente investigación, es implementar la industrialización a nivel de planta comercial para la producción de ALCOHOL por fermentación enzimática; elaborando como subproductos el ACEITE ESENCIAL, PECTINA CITRICA y HARINA DE BAGAZO.

La investigación ha sido realizada mediante pruebas experimentales a nivel de laboratorio, para determinar los parámetros de operación del proceso de fermentación, los cuales serán utilizados para el diseño de los equipos de una planta comercial.

La NARANJA (*CITRUS SINENSIS*), es un producto altamente degradable durante su proceso de maduración, razón por la cual la única forma de evitar las pérdidas es industrializándola, instalando la planta en zonas de alta producción para promover el crecimiento agroindustrial.

El método elegido es el de FERMENTACION ENZIMATICA, o CATALISIS HOMOGENEA; el avance tecnológico de éstos estudios han sido desarrollados ampliamente por los países industrializados como: Estados Unidos, Inglaterra, Alemania, Francia, Japón, Israel.

Los procesos de catálisis homogénea se basa en el empleo de enzimas en medio líquido, como catalizadores en reacciones químicas de líquidos.

II. FUNDAMENTO TEORICO

Las enzimas son catalizadores proteínicos para las reacciones químicas, que se realizan en los sistemas biológicos; la mayoría de las reacciones químicas de las células vivas, ocurrirían muy lentamente, si no fuera por la catálisis enzimática. A diferencia de los catalizadores no proteínicos, como el H^+ , OH^- , o los iones metálicos, cada enzima cataliza un pequeño número de reacciones y frecuentemente una; las enzimas son así catalizadores altamente específicos en las reacciones. Esencialmente todas las reacciones bioquímicas son catalizadas por enzimas y para casi cada compuesto orgánico que hay en la naturaleza, así como para muchos compuestos orgánicos, existe alguna enzima en algún organismo capaz de reaccionar con el catalizador y originar algún cambio químico.

Para demostrar la acción de las enzimas (levadura), BUCHNER realizó el siguiente experimento: "tomó una cantidad de células de levadura, amasó con arena fina, de este modo rompió la membrana celular, luego la sometió a una presión, en una prensa hidráulica, y obtuvo un jugo, que no es otra cosa que el jugo celular de la levadura, es evidente que habría desaparecido cualquier rastro de vida. Pero sin embargo este jugo celular fue sometido a una solución azucarada, la que dió los mismos resultados que las células vivas, es decir que el proceso de fermentación

no se debía a la vida de los microorganismos, sino a la sustancia protoplasmática que recibió el nombre de ENZIMAS".

Entonces una enzima (levadura), son microorganismos de origen vegetal, cuya función es la de producir la ZIMASA, necesaria para originar la fermentación alcohólica.

Es decir que las levaduras son los agentes bioquímicos de la fermentación.

Al igual que todo ser vivo, las enzimas nacen, se multiplican y mueren, su diámetro varía entre 5 y 10 micrones, de forma elíptica y ovalada.

Biológicamente una levadura consta de un núcleo central pequeño, y algunas veces apenas perceptible, que se encuentran en el jugo protoplasmático, de naturaleza albuminoide y que contiene gránulos pequeños en número variable.

El protoplasma está rodeado de una membrana celulósica, la membrana celular, la cual es bastante resistente en algunos casos.

Las levaduras se reproducen por brotamiento, esto es, que alrededor de cada célula madre, se originan otros más pequeños las que en un momento dado se desprenden para volver a producir otras.

En la composición de una levadura, como se observa en la TABLA 1, el mayor componente es el agua.

TABLA 1
COMPOSICION QUIMICA DE UNA LEVADURA COMUN

C O M P O N E N T E	% PESO
AGUA (evaporada a 102 °C)	70.0
CELULOSA	12.1
PROTEINAS (ALBUMINA)	11.4
PROTEINAS (COMBINACIONES FOSFATADAS)	2.7
GRASAS	1.0
MATERIAS EXTRANAS	0.8
PEPTONAS	0.6
CENIZAS (MATERIAS MINERALES)	1.4
T O T A L	100.0

FUENTE: Vallejos, Francisco.

2.1 CARACTERISTICAS GENERALES DE LA NARANJA (CITRUS SINENSIS)

Los frutos de naranja, son una baya especial llamada HESPERIDIO, constituida por:

a) EPICARPIO, capa continua de células epidérmicas, con una gruesa cutícula, que contiene estomas. Debajo de esta epidermis está el epicarpio o flavedo, es decir una capa parenquimatosa, rica en cromoplastos, carotenoides, caroteno ($C_{40}OH_{56}$), xantófila ($C_{40}H_{56}O_2$), y en menor cantidad la criptoxantina ($C_{40}H_{56}O$).

El aceite esencial es muy variable, dependiendo de la variedad, estado del fruto, grado de maduración, tamaño.

Junto a los cromoplastos, hay numerosos sacos o glándulas de esencias, los que están situados irregularmente a diferentes profundidades del epicarpio. Cabe destacar también, que en el flavedo se encuentran gran cantidad de ácido ascórbico (vitamina C), como se muestra en la TABLA 2.

TABLA 2

COMPOSICION QUIMICA APROXIMADA EN VITAMINAS
EN LAS DISTINTAS PARTES DE LA NARANJA

C O M P O N E N T E		(mg./100g. MUESTRA)
VITAMINA A	ZUMO	0.16
	PULPA	1.00
VITAMINA DEL COMPLEJO B	ZUMO	0.15
	PULPA	0.90
VITAMINA C	ZUMO	57.00
	PULPA	60.00
	ALBEDO	100-200
	FLAVEDO	150-300

FUENTE: Primo, 1979; Martínez, 1983

b) MESOCARPIO, parte más profunda de la parte coloreada de la corteza, de color blanco, esponjoso y parenquimatoso, llamada albedo; en la maduración del fruto, las células del albedo se vuelven más alargadas y divididas, formando una intrincada malla de células, con largos espacios intercelulares, los cuales dan a la corteza madura su textura esponjosa.

El albedo de los cítricos contiene de 30% a 35% de la pectina total en base seca.

En cuanto al contenido de sustancias pécticas, se encuentran grandes cantidades en el albedo. En los frutos verdes, la mayor parte de las sustancias pécticas se encuentran en el albedo, en forma de protopectina insoluble que se transforma gradualmente en pectina soluble, durante el proceso de maduración la corteza fresca contiene 1.5% a 3.0% de pectina, y las desecadas 9% a 18% (MARTINEZ 1983). Ver TABLA 3.

c) ENDOCARPIO, porción comestible, consistente en segmentos (carpelos y gojos) distribuidos alrededor de una médula blanca o eje central de la misma consistencia y composición del albedo.

Cada uno de éstos se halla envuelto por una delgada capa carpelar, formada por un tejido de origen epidérmico.

Estrechamente acoplados en el interior de los segmentos y unidos a las paredes con pequeños papilos capilares, se encuentran las vesículas multicelulares que contienen el jugo.

TABLA 3

VALORES MINIMO Y MAXIMO DE LOS CONTENIDOS
DE PECTINA DE LA NARANJA

C O M P O N E N T E	VALOR MINIMO mg./100 ml.	VALOR MAXIMO mg./100 ml.
PECTINA EN EL SUERO (*)	12.5	51.0
PECTINA EN LA PULPA	156.0	426.0
PECTINA EN EL ZUMO	44.5	103.0
PECTINA EN EL EXTRACTO DE CORTEZA (110° BRIX) (**)	29.7	278.7

FUENTE: Primo 1979.

(*) SUERO: Representa el zumo centrifugado, en el cual se ha eliminado todo tipo de partículas en suspensión.

(**) EXTRACTO: Resulta de extrujar la corteza y exprimirla.

*Location of the Principal Constituents
in the Various Tissues of the Orange*

FLAVEDO OR EPICARP

Carotenoid Pigments

Vitamins

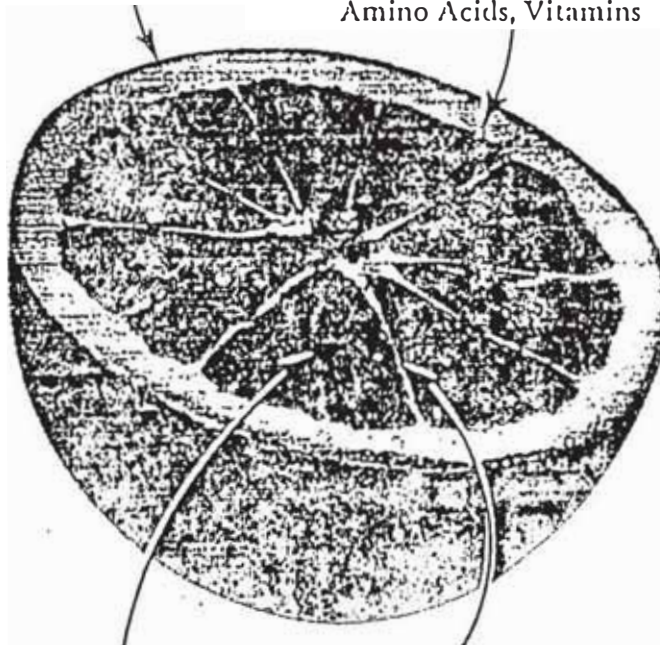
Essential Oils

ALBEDO OR MESOCARP

Celluloses and Soluble Carbohydrates

Protopectin, Pectin, Flavonoids

Amino Acids, Vitamins



EDIBLE PORTION OR ENDOCARP

SEGMENT COVERS AND JUICE SACS

CARPELLARY MEMBRANES AND VESICLES

Celluloses, Protopectin, Pectin, Sugars,

Flavonoids, Amino Acids, Vitamin C,

Minerals, other nutrients.

JUICE

Carbohydrates: Glucose, Fructose,
Sucrose. Citric Acid, Vitamin C,
Vitamin B Complex, Minerals, and
many other nutrients.

From Glenn H. Joseph, 1957, Sunkist Growers, Inc. .

FIGURA 1. ◦-

2.2 VARIACIONES FISICO-QUIMICAS EN LA MADURACION DE LA NARANJA

Normalmente en un fruto de naranjo, ocurren cambios físico químicos, debido a las reacciones inherentes de los compuestos químicos, que contienen el fruto y a las condiciones climáticas del medio ambiente.

Las principales variaciones son:

a). VARIACION DE LA CONCENTRACION DE ACIDOS

Durante el desarrollo de las naranjas, la cantidad de ácido libre aumenta en los frutos al comenzar el crecimiento y luego permanece constante.

La concentración de los ácidos libres en el jugo disminuye por dilución, cuando el fruto aumenta de tamaño.

En la maduración, el contenido de ácido cítrico disminuye notablemente.

El PH del jugo aumenta a medida que el fruto madura, por efecto, del tampón CITRICO-CITRATO.

b). VARIACION DE LOS GRADOS BRUX Y EL INDICE DE MADUREZ

El GRADO BRUX es una forma de la medida de la densidad.

Un GRADO BRUX, es la densidad que tiene a 20°C una solución sacarosa al 1% en concentración peso/volumen, a esta densidad corresponde también un determinado índice de refracción,

como se menciona en la TABLA 4.

Los sólidos disueltos no sólo son sacarosa, sino que hay otros azúcares, ácidos y sales, en el jugo de naranja, 1° BRIX no equivale a una concentración de sólidos disueltos de 1g./100ml. Los grados brix, es por lo tanto un índice comercial aproximado de esta concentración, que se acepta convencionalmente como si todos los sólidos disueltos fueron sacarosa.

Durante la maduración de las naranjas, hay un aumento de esta concentración de sólidos solubles, sobre todo de los azúcares, y un descenso en la acidez.

TABLA 4

INDICES DE REFRACCION DE SOLUCIONES DE AZUCAR
POR MEDIO DEL REFRACTOMETRO ABDF A 20°C- SCHOMROCK

INDICE REFRAC.	AZUCAR (%)	INDICE REFRAC.	AZUCAR (%)	INDICE REFRAC.	AZUCAR (%)
1.3333	0	1.3793	29	1.4373	58
1.3344	1	1.3811	30	1.4393	59
1.3359	2	1.3829	31	1.4418	60
1.3374	3	1.3847	32	1.4441	61
1.3388	4	1.3865	33	1.4464	62
1.3403	5	1.3883	34	1.4486	63
1.3418	6	1.3902	35	1.4509	64
1.3433	7	1.3920	36	1.4532	65
1.3448	8	1.3939	37	1.4555	66
1.3464	9	1.3958	38	1.4579	67
1.3479	10	1.3978	39	1.4603	68
1.3494	11	1.3997	40	1.4627	69
1.3510	12	1.4016	41	1.4651	70
1.3526	13	1.4036	42	1.4676	71
1.3541	14	1.4056	43	1.4700	72
1.3557	15	1.4076	44	1.4725	73
1.3573	16	1.4096	45	1.4749	74
1.3590	17	1.4117	46	1.4774	75
1.3606	18	1.4137	47	1.4799	76
1.3622	19	1.4158	48	1.4825	77
1.3639	20	1.4179	49	1.4850	78
1.3655	21	1.4200	50	1.4876	79
1.3672	22	1.4221	51	1.4901	80
1.3689	23	1.4242	52	1.4927	81
1.3706	24	1.4264	53	1.4954	82
1.3725	25	1.4285	54	1.4980	83
1.3740	26	1.4307	55	1.5007	84
1.3758	27	1.4329	56	1.5033	85
1.3775	28	1.4351	57		

FUENTE: RAUCH 1970

Un GRADO BRUX/ACIDEZ VALORABLE, aumenta cuando avanza la maduración de la fruta.

EL INDICE DE MADUREZ (IM), se expresa como ácido cítrico anhidro:

$$IM = \frac{\text{GRADO BRUX}_1}{\text{ACIDEZ VALORABLE}_2}$$

donde: (1) corregido o sin corregir

(2) Valorada con NaOH y expresado como gramos de ácido cítrico anhidro/100 ml.

Para un sabor grato al paladar, es deseable que la fruta tenga un INDICE DE MADUREZ de 9 a 10 o mayor, se alcanza cuando se logra una maduración avanzada.

2.3 VARIEDADES DE LA NARANJA

Existen un gran número de variedades de naranjas, entre las que se pueden citar: la WASHINGTON NAVEL, AGRIA, NAVELATE, CADENERA, VALENCIA, y muchos otros híbridos.

Algunas de sus propiedades se muestran en la TABLA 5.

El aceite esencial contenido en la cáscara, es muy variable, dependiendo de la variedad, estado del fruto, grado de maduración, tamaño, etc.

La variedad Washington navel, es su corteza contiene de 0.30% a 0.40% del constituyente principal LIMONENO (TERPENOS), y en menor cantidad el LINALOL, PERPINOL, ALDEHIDO DECILICO, ETER CAPRILICO, etc. (González 1960).

El zumo recién extraído de las naranjas NAVEL, tiene un agradable sabor, pero a los pocos minutos comienza a adquirir un sabor amargo, que es debido a la LIMONINA, que es distinta a los FLAVENOIDES, amargos como la NEOHESPERIDINA de la naranja amarga. La presencia de LIMONINA impide el uso extenso de esta variedad en la industrialización del zumo, la composición varía entre 0.5 y 30 mg./litro. El precursor de la amargura en el zumo de la naranja es la MONOLACTONA A, del ácido limonoico, que en el zumo se lactoniza, catalizada por la enzima D-LACTONAHIDROLASA, dando la LIMONINA como se observa en la FIGURA 2.

El ACIDO LIMONOICO y su monolactona, existen en casi todas las variedades de naranja, pero desaparecen metabólicamente cuando el fruto madura, excepto en las naranjas navel.

En el zumo de las naranjas navel, se encuentra usualmente de 10 a 30 mg./litro y en la piel de 0.5 a 1.0 mg./g. del albedo de la variedad navel, se ha aislado un limoninato DESHIDROGENASA, que transforma la monolactona A del ácido limonoico en su 17-

TABLA 5

CARACTERISTICAS FISICO-QUIMICAS EN ALGUNAS
VARIETADES DE NARANJAS CULTIVADAS
INDICE DE MADUREZ 7: 5

COMPONENTE	V A R I E D A D N A R A N J A			
	WASHINGTON	NAVELATE	CADENERA	VALENCIA
PESO PROMEDIO (g.)	192.0	178.0	143.0	152.0
CORTEZA POR PELADO (%)	30.0	26.5	31.0	32.0
CORTEZA POR EXPRESION (%)	45.0	41.0	42.0	45.0
ZUMO (%)	48.0	52.0	53.0	51.0
SOLIDOS SOLB. EN ZUMO(°BRIX)	11.0	10.5	11.0	11.5
ACIDEZ g.ác.cítrico /100 ml. zumo	1.44	1.41	1.43	1.53
VITAMINA C (mg/100 ml.)	51.0	52.0	57.0	53.0

FUENTE: Gonzáles 1960.

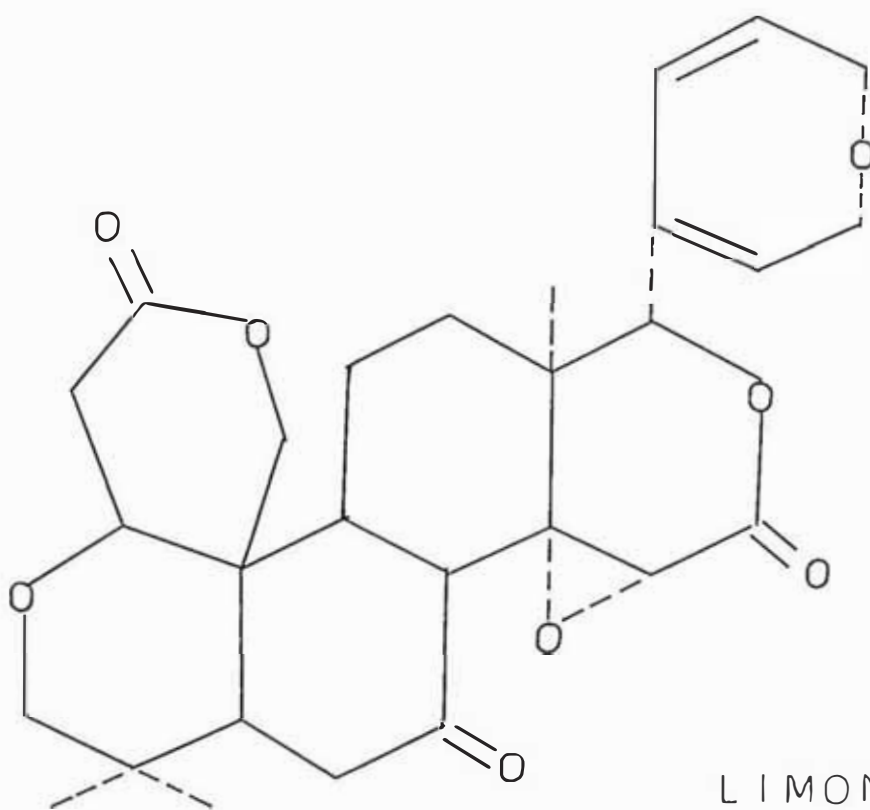
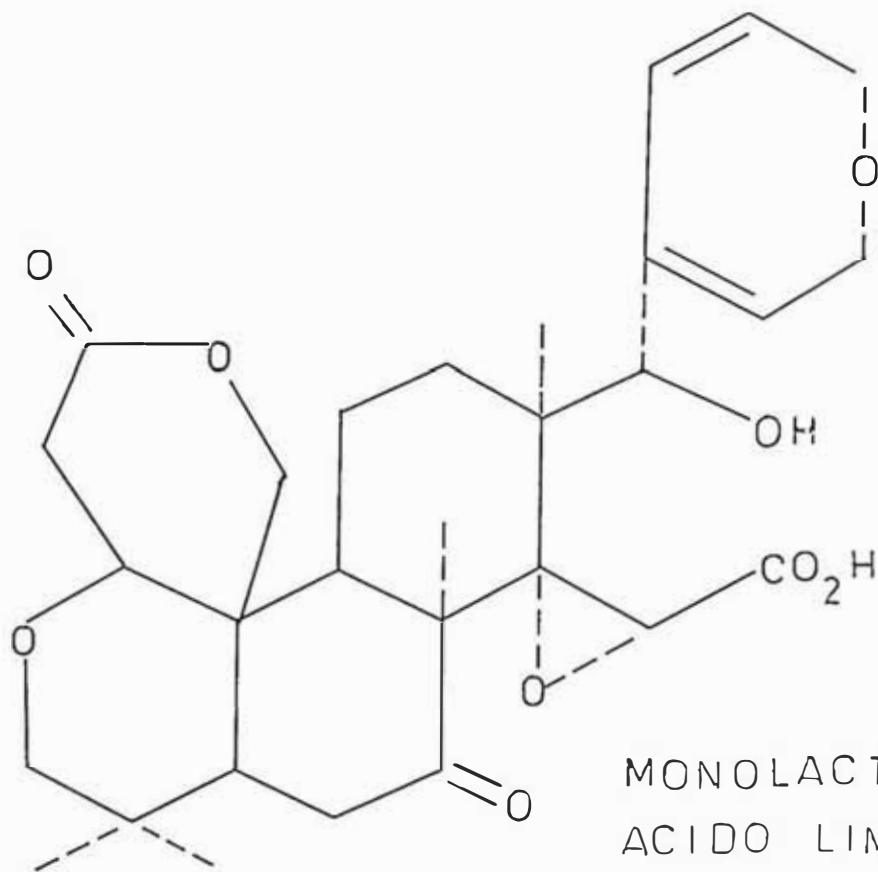


FIG. 2

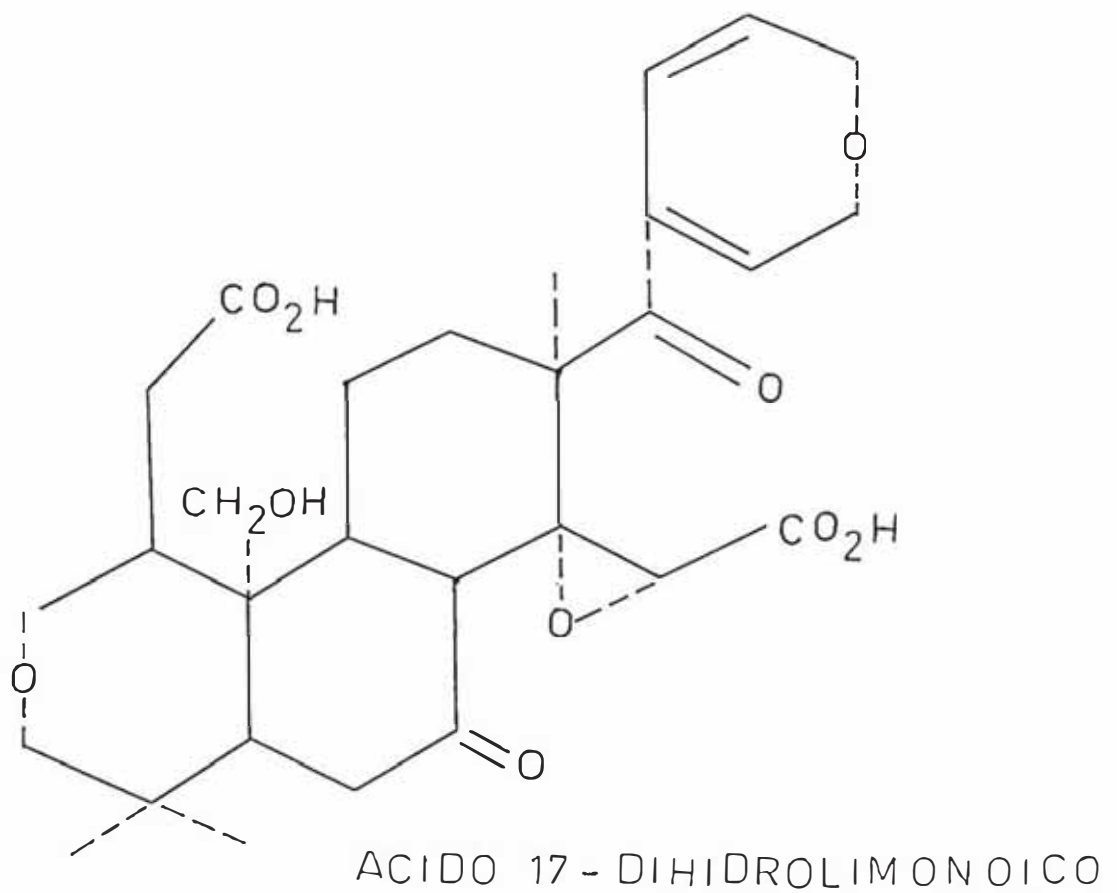
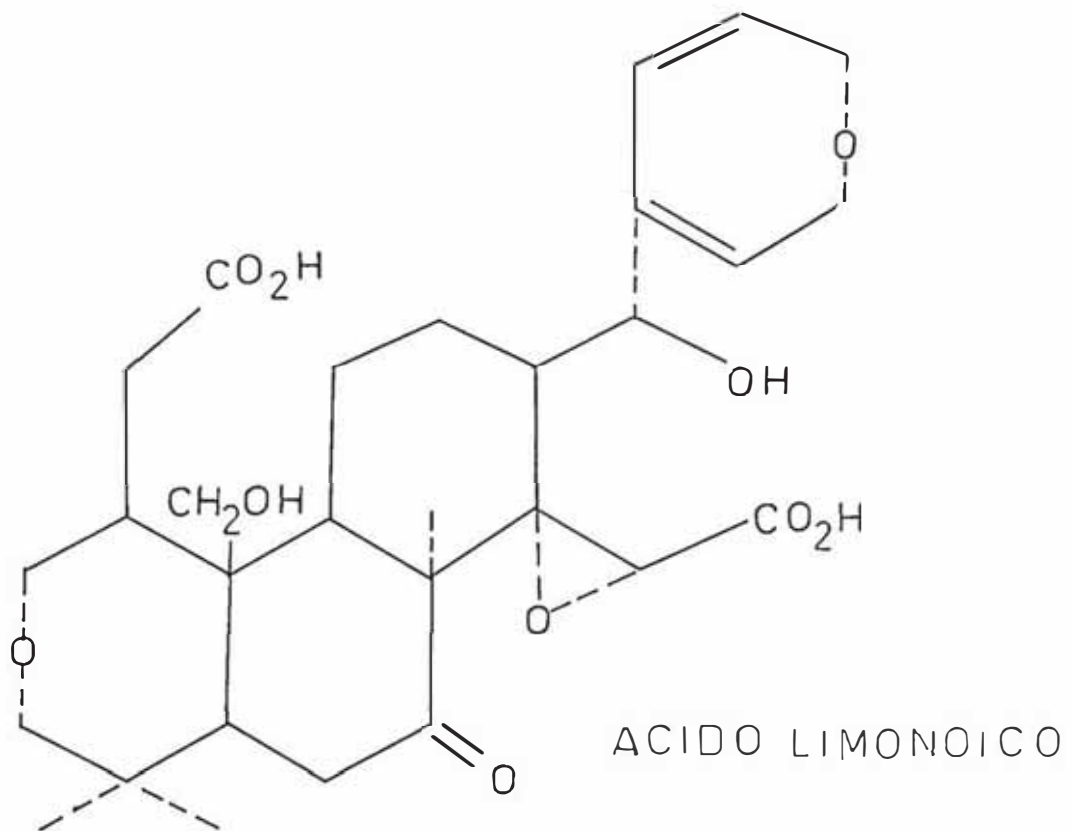


FIG. 3

dehidroderivado que no es amargo, como se muestra en la FIGURA 3.

2.4 PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS DEL FRUTO

Entre los componentes físico y químicos de la naranja, se menciona:

1° MESCOCARPIO

Compuesto en mayor proporción por agua entre 75% y 80%, azúcares en frutos maduros 44.%, celulosa (lignina y pectosa) 33%, sustancias pécticas (pectina) 20%.

2° ENDOCARPIO

Sólidos solubles, están formados por azúcares reductores y no reductores, y ácidos: sacarosa, glucosa, fructuosa, 75% de los sólidos solubles totales y pequeñas cantidades de galactosa, carotenoides, xantófila, caroteno, responsables de la variación de color del jugo. El contenido de caroteno varía entre 0.34 a 1.65 mg./litro.

Compuestos nitrogenados 0.8 - 1.2g./100 g. materia seca, en el jugo y la naranja completa. En el jugo de 50 a 100 mg. de nitrógeno por 100 ml. de solución, en distintas formas: inorgánico, protéico y de amino ácidos.

Vitamina C en el jugo de 30 a 80 mg./100 ml.

La acidez se debe a la presencia de ácido cítrico; por análisis cromatográfico se obtiene: ácido

fosfórico, ácido tartárico, ácido isocítrico, oconífico y cetoglutárico.

En la naranja el ácido cítrico está en forma ácida en un 80% y el resto como citrato de potasio.

Ver Tablas 6, 7, 8.

TABLA 6

ANÁLISIS FÍSICO - QUÍMICO PROMEDIO DEL JUGO

DE LA NARANJA, VARIEDAD VALENCIA

C O M P O N E N T E	UNIDADES	CONTENIDO
HUMEDAD	(%)	90.840
MATERIA SECA	(%)	9.150
DENSIDAD	(g/ml.)	1.016
SOLIDOS SOLUBLES	GRADO BRIX	10.500
AZUCARES REDUCTORES	(g. glucosa/l)	44.850
AZUCARES TOTALES	(g. glucosa/l)	69.200
SACAROSA	(g./l)	23.130
ACIDEZ TOTAL	(g.H ₂ SO ₄ /l)	6.400
PH		3.700
NITROGENO	(g/l)	0.620
FOSFORO	(g/l)	0.093
POTASIO	(g/l)	1.170
ACIDEZ	(g.Ac.tartárico/l)	9.800

TABLA 7

COMPOSICION QUIMICA PROMEDIO DEL ZUMO DE NARANJA

C O M P O N E N T E	UNIDADES	RANGO DE COMPOSICION
SOLIDOS SOLUBLES	(GRADO BRIX)	9 - 15
AZUCARES	(g./100 ml.)	5 - 12
ACIDEZ	(g.Ac.cítrico anh./100ml)	0.5 - 3.5
PH		3.3 - 3.8
AMINO ACIDOS	(número de formol)	1.5 - 2.5
VITAMINAS C	(mg./100 ml.)	25 - 80
CAROTENOIDES	(mg./100 ml.)	0.5 - 2.0
GRASA	(mg./100 ml.)	85 - 100

FUENTE: Primo, 1979

TABLA 8

COMPOSICION QUIMICA DEL FRUTO (JUGO) DE NARANJAS
QUE SE CULTIVAN EN EL PERU
MUESTRA DE 100 GRAMOS DE JUGO

COMPONENTE	VARIEDADES DE NARANJAS		
	VALENCIA	AGRIA	WASHINGTON
CALORIAS	39.00	32.00	44.00
AGUA (g)	88.60	90.70	87.30
PROTEINAS (g)	0.60	0.40	1.20
GRASA (g)	0.00	0.20	0.00
CARBOHIDRATOS (g)	10.40	8.40	11.20
FIBRA (g)	0.50	0.00	0.90
CENIZAS (g)	0.50	0.30	0.40
MINERALES			
CALCIO (mg)	30.00	20.00	30.00
FOSFORO (mg)	34.00	8.00	17.00
FIERRO (mg)	0.10	0.30	0.10
VITAMINAS			
CAROTENO (mg)	0.42	0.00	0.02
TIAMINA (mg)	0.07	0.03	0.06
RIVOFLAVINA (mg)	0.03	0.05	0.02
NIACINA (mg)	0.24	0.13	0.28
AC. ASCORBICO			
REDUCIDO (mg)	67.30	42.20	48.90

FUENTE : Collazos, 1975

2.5 ALMACENAJE Y CONSERVACION DEL FRUTO DE LA NARANJA

Para una buena calidad del fruto a procesar, es recomendable que se encuentre en óptimas condiciones, evitando que por su deterioro se formen hongos o parásitos, reduciendo el rendimiento del proceso final. Es necesario someter a los frutos a un almacenamiento adecuado:

a). ALMACENAJE REFRIGERADO

Se realiza a 8°C, los niveles del índice de madurez se alcanzan entre 55 a 60 días. El tiempo óptimo es de 60 días a 8°C, correspondiente un índice de madurez de 3.95.

b). ALMACENAJE EN ATMOSFERA CONTROLADA

El valor de índice óptimo es de 10/1, alcanzado a los 75 a 80 días de almacenaje, este valor de índice de madurez al igual que en los otros tratamientos guarda correspondencia con el sabor, color, olor y valor comercial óptimo de la naranja.

Se ha establecido como tiempos óptimos de almacenaje los siguientes; como se muestra en la TABLA 9.

TABLA 9

TIPOS DE ALMACENAMIENTO Y RENDIMIENTOS OPTIMOS DE NARANJAS

T I P O	TEMPERATURA	COMPOSICION	HUMED. RELAT.	TIEMPO (DIAS)
1. ATMOSF. CONTROLADA	CONSTANTE 8°C	3% - 5% CO ₂ 2% - 4% O ₂	90% - 95%	75 - 80
2. REFRIGERADA	CONSTANTE 8°C	AMBIENTE	85% - 90%	60
3. REFRIGERADA	DECRECIENTE 7° - 5° - 3°	AMBIENTE	85% - 90%	70
4. REFRIGERADA	CONSTANTE 13°C	AMBIENTE	85% - 90%	30 - 35

FUENTE : "Almacenamiento de naranjas". Rodriguez Nuñez, José
U.N.A. Tesis Ms. SCINTIAE, 142 pp., 1986

TABLA 10

VOLUMENES DE INGRESO DE NARANJAS AL
MERCADO MAYORISTA N° 2 DE LIMA - PERU

	VARIEDADES - CANTIDADES EN TM.			TOTAL (TM.)	% DE INGRESO DEL TOT.	CALIFICACION DE LOS VOLUMENES DE INGRESO
	VALENCIA COSTA	VALENCIA SELVA	WASHINGTON			
1987/DIC.	378	2622	611	3611	8.82	ABUNDANTE
1988/ENE.	398	1873	55	2326	5.68	ESCASO
FEB.	354	2209	68	2631	6.61	NORMAL
MAR.	39	2954	323	3316	8.99	NORMAL
ABR.	532	2269	788	3589	10.92	ABUNDANTE
MAY.	1673	3206	929	5808	17.64	ABUNDANTE
JUN.	683	2631	1660	4974	15.46	ABUNDANTE
JUL.	2948	1153	2601	6702	21.52	ABUNDANTE
AGO.	4488	242	2504	7234	25.40	ABUNDANTE
SET.	742	4357	266	5365	20.25	ABUNDANTE
OCT.	1795	4664	333	6792	22.73	ABUNDANTE
NOV.	1120	5665	293	7058	21.70	ABUNDANTE
1988/DIC.	320	4803	560	5683	15.12	ABUNDANTE

FUENTE: Empresa de Mercados Mayoristas S. a.

2.6 PRODUCCION DE NARANJAS EN EL PERU

Como se puede apreciar en la TABLA 10, la variedad de mayor producción es la VALENCIA tanto de la Costa como de la Selva, siendo la producción en la selva la más uniforme durante todo el año, a excepción del mes de agosto que baja considerablemente.

2.7 DESCRIPCION DE LAS UNIDADES EXPERIMENTALES

2.7.1 EQUIPOS Y MATERIALES EMPLEADOS

A). EQUIPOS E INSTRUMENTOS

- 1° FERMENTADOR ENZIMATICO (CAPACIDAD DE 4 LITROS)
- 2° EXPRIMIDOR O EXTRACTOR DE JUGOS
- 3° REFRACTOMETRO (GRADO BRIX)
- 4° TERMOMETRO
- 5° PICNOMETRO - DENSIMETRO DIGITAL
- 6° BALANZA ANALITICA
- 7° UNIDAD DE DESTILACION
- 8° UNIDAD DE CALENTAMIENTO

B). MATERIALES Y REACTIVOS

- 1° NARANJAS, VARIEDAD VALENCIA SELVA
- 2° ENZIMA
TIPO : MONTRACHEW
NOMBRE : SACCHARAMYCES CEREVICIAE
VARIEDAD : ELLIPSOIDEUS
- 3° AZUCAR REFINADA
- 4° ACIDO CITRICO

5° CARBONATO DE SODIO

6° FENOLFTALEINA

7° HIDROXIDO DE SODIO

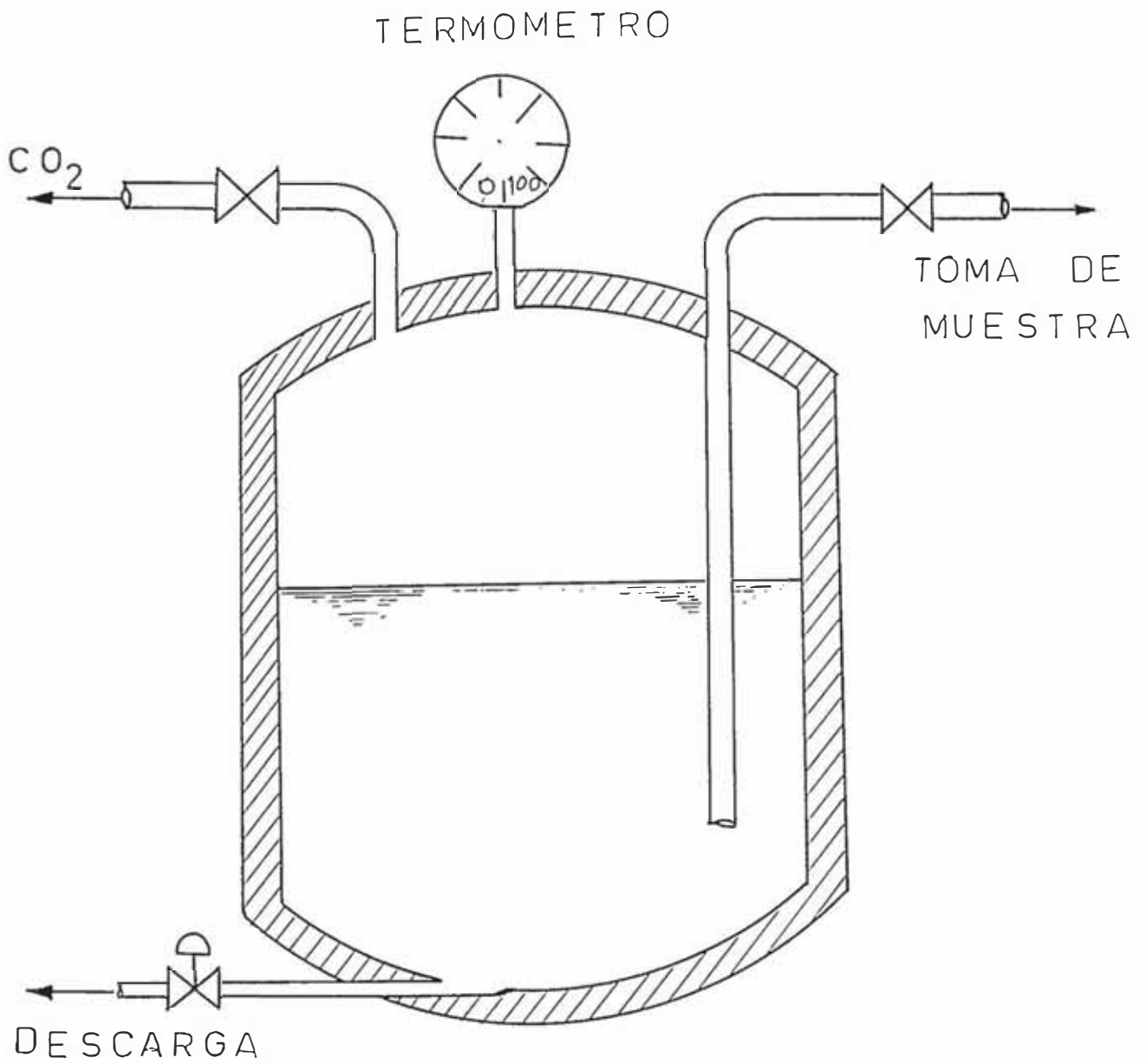
2.7.2 DESCRIPCION DE LA UNIDAD DE FERMENTACION

Es una unidad de 4 litros de capacidad total.

El volumen total utilizado para la fermentación, es de 2.0 litros.

Es una unidad totalmente aislada (equipo adiabático), provisto de 3 salidas, una para la expulsión de CO₂ generado durante el proceso de fermentación; la otra salida superior es para la toma de muestras, para el control de proceso de fermentación, el que se extrae por succión con vacío. La salida inferior es para la descarga del fermento; también se puede apreciar que además está provisto de un termómetro para la medición de la temperatura durante el proceso, como se observa en la FIGURA 4.

Es necesario hacer burbujear el CO₂ en agua, con la finalidad de evitar la evaporación del fermento y la contaminación con el medio exterior.



EQUIPO ADIABATICO EXPERIMENTAL

FIG. 4

2.7.3 DESCRIPCION DE LA UNIDAD DE DESTILACION

A). PARA EL CONTROL DEL PROCESO DE FERMENTACION

Es una unidad pequeña, provista de un balón de 250 ml., para destilar hasta 180 ml. de fermento, con un termómetro para medir la temperatura de destilación, un condensador pequeño y un receptor de condensado.

B). PARA LA DESTILACION FINAL DEL FERMENTO

Unidad de 1 litro de capacidad, provista de un termómetro para el control de la temperatura, condensador y receptor de destilado.

2.8 DESCRIPCION DEL PROCESO EXPERIMENTAL

Se ha determinado que la naranja de la variedad VALENCIA SELVA, es la más adecuada para nuestro trabajo experimental, como conclusión de acuerdo a los datos bibliográficos y a las estadísticas encontradas, y, según las TABLAS 6 y 10, también a nuestros datos experimentales obtenidos.

Para el trabajo previo experimental, fué necesario obtener los siguientes datos de la naranja como son:

1° Composición de la naranja, en cuanto a contenido de jugo, cáscara, semilla, para saber la cantidad de frutos a procesar, ver la TABLA 11. Estos frutos deben estar totalmente limpios antes de

proceder a descascarar, procediendo luego a extraer el máximo de jugo posible.

- 2° Obtención de los datos de GRADOS BRIX (cantidad de azúcar), densidad, viscosidad, PH a la temperatura de referencia de 25°C. Con los datos de los GRADOS BRIX y PH es necesario corregir a los valores recomendados. Ver TABLAS 12 y 13.

La adición de 156 gramos de azúcar por litro de jugo, da un valor de 26° GRADO BRIX según la NORMA ICONTEC 708, 1978 (ver anexo 29).

- 3° Corrección del PH, empleándose ácido cítrico o carbonato de sodio, dependiendo el caso de bajar o subir el PH.

- 4° Pasteurización del jugo, a una temperatura entre 70 a 75°C, por unos 10 minutos, y luego enfriamiento a 20°C, con la finalidad de eliminar cualquier microorganismo presente en el jugo, previa a la adición de la enzima.

- 5° Medio de cultivo, se toma 100 ml. de jugo pasteurizado, para un gramo de enzima, en un recipiente esterilizado de 250 ml. (erlerymer), se va agregando poco a poco el jugo, cada media hora, en porciones de 25 ml., hasta completar los 100 ml. de jugo. Estas adiciones en pequeñas cantidades se realiza con la finalidad de estabilizar la enzima en el jugo, para luego dejarlo en el recipiente de cultivo por 24 horas,

TABLA 11

DATOS EXPERIMENTALES DE LA COMPOSICION
FISICA DE LA NARANJA VARIEDAD VALENCIA

SELVA

COM P O N E N T E	PESO (KGS.)	VOLUMEN (L)	PORCENTAJE PESO
JUGO	2.042	2.00	47.644
CASCARA	0.781		18.222
BAGAZO Y SEMILLA	1.414		32.991
PERDIDAS	0.049		1.143
T O T A L	4.286	2.00	100.000

TABLA 12

PROPIEDADES FISICO-QUIMICAS DEL
JUGO PRENSADO

PROPIEDAD		VALOR
GRADO BRIX	(% peso/l.)	10.200
DENSIDAD	(kg./l.)	1.021
PH		3.850
TEMPERATURA	(°C)	25.00
VISCOSIDAD	(Cp)	4.897

TABLA 13

VARIACION DE LA TEMPERATURA EN FUNCIONES PH
DEL TIEMPO DE FERMENTACION, A DIFERENTES PH

TIEMPO (DIAS)	PH = 3.5 TEMPERATURA (°C)	ACIDEZ VOLATIL (g. Ac. Acét./l)	PH = 4.0 TEMPERATURA (°C)	ACIDEZ VOLATIL (g. Ac. Acét./l)	PH = 4.5 TEMPERATURA (°C)	ACIDEZ VOLATIL (g. Ac. Acét./l)
0	20.0	0.00	20.0	0.00	20.0	0.00
1	21.0	3.20	22.0	3.43	22.0	3.51
2	23.0	3.45	23.0	3.56	22.5	3.61
3	23.5	3.51	22.5	3.66	23.0	3.69
4	23.5	3.62	22.0	3.79	22.0	3.80
5	22.0	3.74	21.5	3.85	21.5	3.88
6	21.5	3.86	21.5	3.98	21.0	4.01
7	21.5	3.90	21.0	4.05	20.5	4.08
8	21.0	3.92	21.0	4.10	20.5	4.12
9	20.0	3.93	20.0	4.10	20.5	4.16
10	20.0	3.93	20.0	4.10	20.5	4.16
11	20.0	3.93	20.0	4.10	20.5	4.16
12	20.0	3.93	20.0	4.10	20.0	4.16

logrando de esta manera la reproducción de la enzima, el recipiente debe ser tapado con un algodón.

6° Inoculación del jugo, se procede al día siguiente con el resto del jugo pasteurizado, comenzando el proceso de fermentación. Se toma 50 ml. de cultivo para un litro de jugo pasteurizado.

Se toma diariamente muestras para determinar analíticamente los grados Gay Lusac (°GL), acidez volátil, acidez total, grados Brix, etc., hasta completar el décimo segundo día.

7° Luego se procede a la destilación del fermento, para obtener el máximo posible de alcohol. La destilación se realiza hasta llegar a la temperatura de ebullición del agua. Los GRADOS BRIX se obtiene directamente con el uso de un refractómetro.

8° Los grados Gay Lussac, se obtienen destilando cada muestra hasta la temperatura de destilación del agua, luego se mide la densidad y la temperatura y en las tablas del Manuel de Perry, pág. 270, se lee el porcentaje en peso de alcohol, contenido en la mezcla alcohol-agua; por diferencia encontramos la cantidad de agua. Por lo tanto los GRADOS GAY LUSSAC será el porcentaje en volumen de alcohol puro contenido en un litro de fermento. Ver TABLAS 14 a 20.

DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA OBTENCION
DE ALCOHOL DEL JUGO DE NARANJA

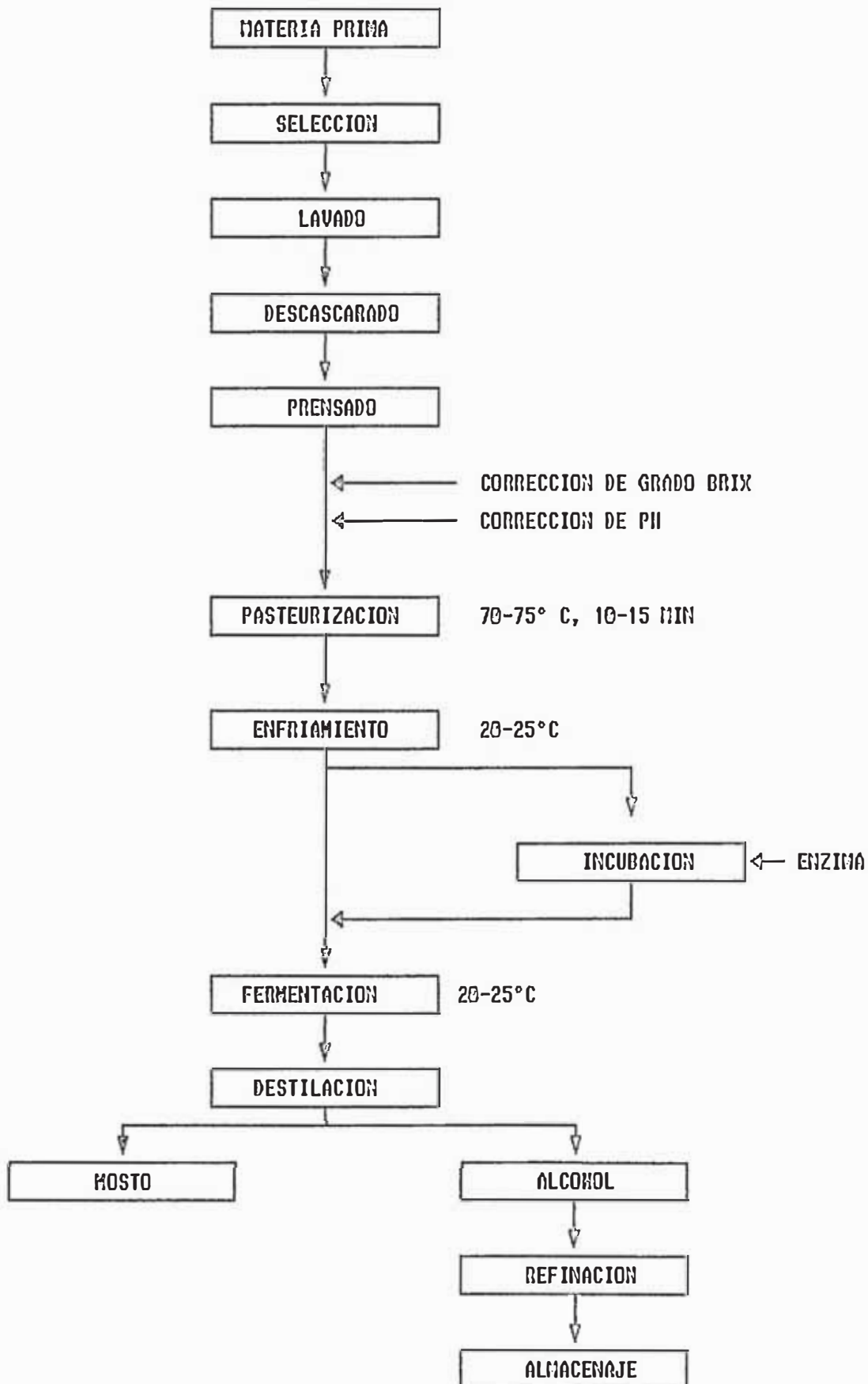


TABLA 15

DATOS EXPERIMENTALES DEL JUGO EN DIFERENTES ETAPAS

PROPIEDAD	JUGO INICIAL	GRADO BRIX CORREGIDO	FERMENTO		
			PH = 3.5	PH = 4.0	FINAL PH = 4.5
GRADO BRIX	10.200	26.000	5.100	4.300	3.900
DENSIDAD (g/cc)	1.021	1.062	1.014	1.011	1.010
PH	3.850	3.850	3.210	3.590	4.120
VISCOSIDAD (cp)	4.897	5.113	4.562	4.538	4.532

TABLA 16

RESULTADOS EXPERIMENTALES DE LA DESTILACION DEL FERMENTO A PH = 4.0

COMPONENTE	VOLUMEN (LITROS)	DENSIDAD (g/cc)	% PESO ALCOHOL
DESTILADO	0.340	0.9456	32.8

TABLA 17

RESULTADOS EXPERIMENTALES

A PH OPTIMO

DIAS	PH
0	4.00
1	3.95
2	3.80
3	3.70
4	3.65
5	3.63
6	3.61
7	3.60
8	3.59
9	3.59
10	3.59
11	3.59
12	3.59

TABLA 18

RESULTADOS EXPERIMENTALES DEL BALANCE DE MASA

PROPIEDAD	UNIDADES	JUGO INICIAL	JUGO GRADO BRIX CORREGIDO	FERMENTO FINAL	FERMENTO (1 LITRO)
AGUA	(g)	919	910.790	910.79	860.87
ENZIMA	(g)			0.53	0.50
AZUCAR INVERTIDA	(g)	102	266.210	45.49	43.00
ALCOHOL	(g)			112.81	106.63
CO ₂				107.91	101.99
GRADO BRIX		10.200	26.00000	4.30	4.30
DENSIDAD	(g/cc)	1.021	1.062000	1.011	1.011
VOLUMEN	(L)	1.000	1.10828	1.0579	1.000
PESO	(kg)	1.021	1.17700	1.0696	1.011
AZUCAR CONSUMIDA	(kg)			220.72	208.620

TABLA 19

RESULTADOS EXPERIMENTALES DE LAS VARIABLES DE DESTILACION

ELEMENTO	AGUA (g)	ALCOHOL (g)	FLUJO (g/h)	TEMPERATURA ENTRADA (°C)	TEMPERATURA ENTRADA (°C)	TIEMPO (horas)
DESTILADO (Q _D)	216.00	105.48	165.71	26°-30°		1.94
VAPOR (Q _V)	210.36	106.63	167.52	80°-100°		1.94
AGUA REFRIG.			6100.00	20°	32°-33°	1.94

TABLA 20

PROPIEDADES FISICAS EXPERIMENTALES
DEL FERMENTO

ELEMENTO	CÁLOR ESPECÍFICO RANGO 20-100°C (cal/g.°C)	CÁLOR LATENTE VAPORIZACION (Kcal/kg)	CÁLOR ESPECÍFICO RANGO 20-35°C (cal/g.°C)
AGUA	1.003275	544.14	0.99976
ALCOHOL	0.711300	198.61	
AZUCAR	0.30100		

2.9 MEDIDORES DE PROCESO

2.9.1 MEDIDORES DE PRESION

PRENSADO

Es necesario la medición de la presión aplicada, para lograr un adecuado prensado, de tal manera de obtener la máxima cantidad de jugo de naranjas, con la aplicación de una presión dada en kg/cm^2 .

2.9.2 MEDIDORES DE TEMPERATURA

A). PASTEURIZADOR

La medición de la temperatura es muy importante en la pasteurización, esta medición se realiza con un termómetro con una graduación de 0° a 100°C , donde el rango de medición del jugo está entre $70 - 75^\circ\text{C}$, y el rango de enfriamiento entre 20° a 25°C .

B). CULTIVO

La medición del parámetro de TEMPERATURA, es muy importante, para favorecer el desarrollo enzimático, el rango de temperatura es de 20 a 25°C .

C). FERMENTADOR

La temperatura en este proceso, es una de las más importantes, ya que de ella depende la transformación de los

azúcares reductores a alcohol, por la acción de la enzima. Es importante mantener una temperatura constante (sin intercambio de calor con el medio).

D). DESTILADOR

La medición de la temperatura en este equipo, tiene por finalidad controlar el desarrollo de la destilación, nos indicará tanto el inicio como la finalización de la destilación, con la medición de la temperatura de los vapores que llegan al condensador.

2.9.3 MEDIDOR DE NIVEL

A). PASTEURIZADOR

Con la medición del nivel se tendrá la medida exacta del volumen en el pasteurizador, para poder realizar la corrección de los GRADOS BRUX adecuado de trabajo, así como también tener la medida del PH, para corregirlo, ya sea con ácido cítrico o con carbonato de sodio.

B). CULTIVO

Es importante tener la medida del nivel, para realizar los cálculos para dosificar la enzima.

2.9.4 MEDIDORES DE OTRAS VARIABLES

VARIABLES FISICAS Y QUIMICAS

1. PASTEURIZADOR

Son muy importantes la medición de los GRADOS BRIX, ya sea con un refractómetro o un hidrómetro.

Otra de las variables importantes de medición, es la densidad, mediante un picnómetro o un densímetro digital.

La medida de la viscosidad, para el cálculo del diseño de agitadores y la potencia de bombas centrífugas.

2. FERMENTADOR

La medida de los GRADOS BRIX, es muy importante, por que nos permite ver el desarrollo de la transformación de los azúcares en alcohol, así como la variación del PH y la densidad final del fermento.

2.10 CONTROL DE PROCESOS

2.10.1 DE LA FRUTA

COMPOSICION FISICA

Es necesario realizar un control de la composición, teniendo en cuenta los porcentajes en peso de la cascara, jugo, semilla y bagazo de la naranja que se va a

procesar, para hacer un cálculo del volumen de producción del día, teniendo en cuenta los datos experimentales de la TABLA 14, para ello se realizan pruebas en una prensa hidráulica se carga con naranjas previamente lavadas y descascaradas, y se somete a distintas presiones, hasta obtener una cantidad constante de jugo.

2.10.2 DEL JUGO DE NARANJAS

Los parámetros importantes en el jugo, para una carga establecida, son los GRADOS BRIX, que representa la cantidad de sólidos solubles totales, azúcares reductores en porcentajes en peso por unidad de volumen. Aproximadamente para usos prácticos los grados brix, son medidos con refractómetro portátil; otros parámetros importantes son la densidad, viscosidad, medidos con picnómetro y viscosímetro de Oswald respectivamente, datos tabulados en la TABLA 12.

2.10.3 EN LA UNIDAD DE FERMENTACION Y DESTILACION

Después de realizar la inoculación del cultivo, se toman los datos de los GRADOS BRIX, para luego realizar los cálculos necesarios, para obtener el porcentaje de

alcohol que se va generando diariamente, tomando muestras desde el primero al décimo segundo día.

La determinación del porcentaje de alcohol presente en cada día, se realiza destilando la muestra tomada, en un pequeño equipo de destilación de 100cc., la destilación se realiza hasta que la temperatura de los vapores sean muy cercana a la temperatura de ebullición del agua, de esta manera estaremos asegurando que la totalidad del alcohol se ha destilado.

Luego con la ayuda del picnómetro podremos encontrar la densidad de la mezcla alcohol-agua, remitiéndonos a la tabla del manual de Perry (pág. 270) a una temperatura de 25°C, encontramos la composición de la mezcla alcohol-agua. Otra forma de encontrar el porcentaje de alcohol, es deduciendo matemáticamente a partir de los GRADOS BRIX con la ecuación:



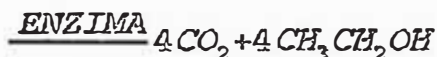
sacarosa

glucosa

$$\bar{M} = 342$$

$$\bar{M} = 18$$

$$2 \bar{M} = 360$$



alcohol etílico

$$4 \bar{M} = 184$$

Por diferencia de los GRADOS BRIX, la toma de muestras para la obtención del porcentaje de alcohol es de 1° al 12 día, en la siguiente forma: 50, 50, 25, 25, 20, 20, 15, 15 ml. Datos tabulados en la TABLA 14.

También se toman datos de la variación de la temperatura en el desarrollo de la fermentación, como se aprecia en la TABLA 13.

Luego se realizan los análisis correspondientes a la acidez total y acidez volátil, ver TABLA 13.

2.11 CONTROL DE CALIDAD

2.11.1 DE LA FRUTA

A). ANALISIS ORGANOLEPTICO

Se realiza según la NORMA ITINTEC 011.007 (1975), y por SINCLAIR, W. B. "The orange, its biochemistry and

Physiology". Se considera los siguientes aspectos:

1° ANALISIS GENERAL EXTERIOR

Se considera las alteraciones de la superficie de la fruta, textura, brillantez de la cáscara, distribución e intensidad de color de la cáscara, las calificaciones finales seran: BUENA, REGULAR y MALA.

2° APARIENCIA GENERAL INTERNA

Se considera la textura, brillantez de la porción comestible, grosor de la cáscara, distribución e intensidad de color, turgencia de gajos.

3° SABOR

La presencia de los constituyentes del jugo es detectada por el paladar, la acidez y el dulzor del jugo, según la siguiente calificación; NORMAL, AGRADABLE DULCE, AGRADABLE ACIDO, DESAGRADABLE.

4° OLOR

Es percibido luego de partida la naranja y cuando se extrae el jugo.

5° TEXTURA

Se evalúa en la naranja entera y en la naranja partida, la conformación y

turgencia de los gajos.

2.11.2 DEL JUGO DE NARANJA

A) EVALUACION DEL COLOR DEL JUGO

Se emplea el método de LEVIBOND (colorímetro), se coloca el jugo de naranja en la cubeta de muestra y se determina los valores de X, Y, Z por comparación con el patrón de CARBONATO DE CALCIO.

B) DETERMINACION DE LOS SOLIDOS SOLUBLES

Se determina por REFRACTOMETRIA, con un refractómetro manual marca ABBE, se toma las lecturas de los grados brix o porcentajes de sólidos solubles totales en el jugo.

C) DETERMINACION DE LA ACIDEZ TOTAL EN EL JUGO

Se toma 1 ml. de jugo de naranja, previamente decantado y clarificado, se diluye con 20 ml. de agua destilada, en un erlermeyer de 100 ml., luego se agrega de 3 a 4 gotas de fenolftaleína y se titula con hidróxido de sodio 0.1 N, hasta obtener un color rosado persistente. El porcentaje de ácido expresado como ácido cítrico se calcula según:

$$\% \text{ ACIDO CITRICO} = \frac{(\text{ml. NaOH}) \times (\text{N}) \times (\# \text{EQUIV. Ac CITRICO})}{\text{Volumen muestra} \times \text{alícuota (ml)} \times \text{Volumen de dilución}}$$

D) DETERMINACION DEL CONTENIDO DE ACIDO ASCORBICO

Se aplica el método usual con 2,6 DICLOROFENOL LINDOFENOL (2-6 DCFLF)

Se toma 20 ml. de jugo de naranja, decantado y clarificado, se agrega 100 ml. de solución al 0.5% de ácido oxálico, se mezcla y homogeniza convenientemente.

Se toma una alícuota de 30 ml. en un erlermeyer de 100 ml., se titula con la solución de 2-6 DCFLF hasta obtener un color rosado débil persistente.

Se anota el gasto de 2-6 DCFLF.

Cálculo del equivalente en ácido ascórbico por ml. de solución 2-6 DCFLF.

$$\text{EQUIVALENTE} = \frac{1 \text{ mg. Ac. ascórbico}}{\text{ml. sol. 2-6 DCFLF}} = T$$

El contenido de ácido total de Ac.

Ascórbico se calcula según:

$$\frac{\text{mg. Ac. Ascórbico}}{\text{mg. de muestra}} = \frac{V \times T \times 100}{W}$$

Donde:

V= ml. de colorante utilizado para titular la alícuota de muestra.

T= Equivalente de ácido ascórbico en la solución colorante expresado en mg. por ml. de colorante.

W= Gramos de muestra en alícuotas tituladas.

E) DETERMINACION DEL INDICE DE MADUREZ

Se expresa como ácido cítrico anhidro:

$$I.M. = \frac{GRADO\ BRIX_1}{ACIDEZ\ VALORABLE_2}$$

donde:

- (1) Corregido o sin corregir
- (2) Valorada con NaOH y expresado como gramos de ácido cítrico anhidro/100 ml.

2.11.3 CONTROL DE CALIDAD DEL ALCOHOL

Se realiza por el contenido de pureza con respecto al agua que contiene, como ya se mencionó anteriormente, por el principio de la densidad y con las tablas de porcentaje de alcohol, y de los otros componentes por análisis en el alcohol final.

III. OPERACIONES UNITARIAS Y PROCESOS

3.1 TRATAMIENTO DE LA FRUTA

A). LAVADO DE LOS FRUTOS

El lavado se realiza con una ducha de agua a presión, con la finalidad de eliminar de las superficies de la naranja todo elemento extraño a los elementos del fruto, como polvo, residuos de insecticidas, etc. que van a contaminar los productos tanto el jugo como los residuos de cáscara y bagazo, que pueden ser aprovechados en forma conveniente.

B). DESCASCARADO

Consiste en quitar la cáscara de la mejor forma posible, sin que se produzca un extrujamiento exagerado, evitando de esta manera pérdidas del aceite esencial contenido en los poros de la cáscara, que es un producto muy cotizado en la industria de perfumes, golosinas y pastelería. La cascara también contiene gran cantidad de sustancias pécticas, que es utilizado para la obtención de la pectina, empleado como espesante para muchos productos de consumo.

C). EXPRIMIDO

Una vez descascarada la naranja, éstas son sometidas a altas presiones para extraer la máxima cantidad posible de jugo, tomándose nota

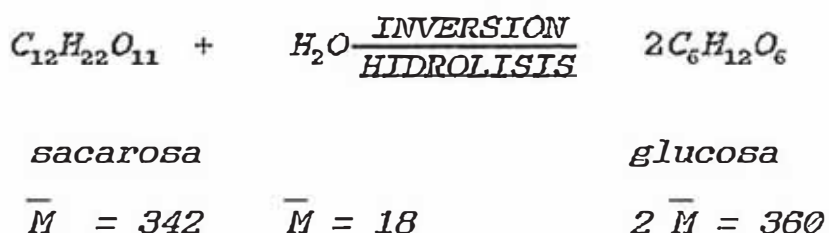
de los parámetros más importantes como GRADOS BRIX, PH, densidad, viscosidad; el residuo puede someterse a un ligero secado para el empleo como alimento para ganado. Experimentalmente se ha trabajado con 2 litros de jugo.

D). CORRECCION DE LOS GRADOS BRIX

De acuerdo a los datos bibliográficos y a normas de producción de alcohol a partir de las frutas según ICONTEC 708, 1978 (ver Anexo 29) es permisible la adición de 160 gramos de azúcar por cada litro de jugo alcanzando 26 GRADOS BRIX. El jugo de naranja debe tener como mínimo permisible:

50 g. de azúcar/litro; para nuestro caso ha sido necesario la adición de 156 g/l. de jugo para alcanzar los 26 GRADOS BRIX, el azúcar refinada sufre un proceso de inversión o hidrólisis, convirtiéndose la sacarosa en glucosa, debido a que sólo las hexosas son los azúcares capaces de sufrir fermentación alcohólica.

A continuación se muestra la ecuación química:



Datos tabulados en la TABLA 14.

E) CORRECCION DE PH

La acidez de la naranja es más inestable que el jugo de uva, de acuerdo a las recomendaciones de BREMOND (1966), recomienda un PH de 3.3 a 3.5, a valores mas altos se activan fermentos perjudiciales.

En términos generales, podemos decir que el desarrollo de las bacterias es favorecido por una ligera alcalinidad, mientras que las levaduras actúan mucho mejor si su medio de acción presenta una acidez notable.

De acuerdo a las recomendaciones de FELIX (1980), nos de rangos mayores, hasta un PH de 4.0.

F) PASTEURIZACION

Esta operación consiste en el calentamiento del jugo hasta una temperatura de 70 a 75 °C, con la finalidad de eliminar cualquier microorganismo extraño a la fermentación alcohólica, que pueda traer como consecuencia la formación de compuestos perjudiciales para la obtención de un alcohol de alta pureza.

El calentamiento se realiza por unos 10 a 15 minutos, luego es enfriado una temperatura de 20 a 25°C.

3.2 PREPARACION DEL MEDIO ENZIMATICO (CULTIVO)

El jugo una vez pasteurizado y enfriado a una temperatura entre 20 a 25°C se trata de las siguiente manera: se toma una muestra de 100 ml., en un recipiente de 250 ml. (erlermeyer), se pesa 0.5 gramos de la enzima elegida, y con agitación se va agregando el jugo pasteurizado cada 25 ml. durante cada media hora hasta completar los 100 ml., luego se tapa con un algodón y se deja en reposo por 24 horas en un ambiente aislado (incubado) a 20°C de temperatura, las enzimas van a desarrollarse lo suficientemente para actuar en el proceso de fermentación; no es necesario agregar nutrientes.

3.3 INOCULACION DEL CULTIVO EN EL FERMENTADOR

Transcurrido las 24 horas del desarrollo enzimático, se procede a la inoculación de éste al fermentador que contiene el jugo pasteurizado, listo para empezar la fermentación.

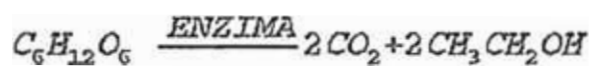
La inoculación se realiza poco a poco con ligera agitación, hasta completar la totalidad del cultivo. Culminada esta etapa es cuando se inicia el proceso de fermentación.

3.4 FERMENTACION ENZIMATICA

El proceso de fermentación es originado por una sustancia protoplasmática contenido en el jugo

celular de las enzimas, que recibe el nombre de ZIMASA, entonces las enzimas son los agentes bioquímicos de la fermentación.

De acuerdo a la reacción química:



glucosa

alcohol

La acción de las enzimas dependen de una serie de factores :

1° DE LA TEMPERATURA, las fermentaciones se llevan a cabo a temperatura adecuadas, por ejemplo, por encima de los 30°C comienzan a desarrollarse otras fermentaciones:

Como son la láctica, butírica, etc.

Se puede afirmar que a 50°C queda anulada por completo la fermentación.

2° DEL MEDIO

El desarrollo de las bacterias es favorecido por una ligera alcalinidad, mientras que las levaduras actúan mucho mejor, si el medio presenta una acidez notable como se mencionó anteriormente, para lo cual se realizan la corrección del PH.

3° ACCION DEL OXIGENO

Un exceso de éstos elementos favorece la formación o desarrollo de microorganismos, con lo cual ocurre la disminución de la acción fermentativa.

Contrariamente cuando la enzima se encuentra en un ambiente pobre de oxígeno, segregan mayores cantidades de DIASTASA, lo cual hace que se active la fermentación.

Como se ha mencionado anteriormente, en el quinto día se ha logrado la conversión del 90% de los azúcares.

3.5 DESTILACION DEL FERMENTO

La fermentación termina, cuando la variación de los grados brix es nula, es decir son constantes; es en este momento cuando se realiza la destilación del alcohol, o separación del alcohol de otros componentes.

La destilación comienza a la temperatura de ebullición del alcohol puro, es en ese instante donde se evapora el componente mas volátil (alcohol etílico) de la mezcla.

La temperatura va aumentando, conforme avanza la destilación, ya que el contenido del calderín va siendo mas rico en el componente menos volátil (agua).

La destilación termina, cuando la temperatura de destilación alcanza valores cercanos a la temperatura de ebullición del agua, es cuando todo el alcohol ha destilado.

Sí se desea un alcohol de mayor pureza, se realiza una redestilación, alcanzado una pureza máxima de

85%, punto donde ocurre el azeótropo por destilación simple. Para mayor pureza del alcohol, se requiere una columna de rectificación de platos con reflujo variable, o con la adición de compuestos volátiles, para romper el punto azeotrópico.

3.6 BALANCE DE MATERIA Y ENERGIA DEL PROCESO EXPERIMENTAL

3.6.1 BALANCE DE MATERIA

Tomando como base 1 litro de jugo inicial.

GRADO BRUX = 10.2 $\rho = 1.021 \text{ g/cc.}$

COMPOSICION

AZUCAR = 102 g.

AGUA = 919 g.

$W_{total} = 1.021 \text{ g/cc} \times 1000\text{cc.} = 1021 \text{ g.}$

Considerando sólo dos componentes principales.

CORRECCION DE LOS GRADOS BRUX

GRADO BRUX final = 26° $\rho = 1.062 \text{ g/cc}$

De la ecuación de reacción de la sacarosa (ver acápite 2.10.3, pág. 65).

Por la hidrólisis del azúcar invertida:

AZUCAR INVERTIDA = $156 \times (360/342) = 164.21$

AGUA CONSUMIDA = $18 \times (156/342) = 8.21$

COMPOSICION FINAL:

AGUA = 910.79 g.

AZUCAR = 266.21 g.

WT = 1176.999 g.

V = 1108.28 cc.

FERMENTO

$$\text{GRADO BRUX} = 4.3 \quad \rho = 1.011 \text{ g/cc.}$$

Para conocer la composición exacta del fermento, teniendo en cuenta que los grados brix del mismo es un dato constante, haremos uso de los cálculos iterativos, así:

$$\text{GRADO BRUX} = 4.3 \quad \rho_{\text{fermento}}: 1.011 \text{ gr/ml.}$$

$$W_{\text{AZUCAR}} = 1108.28 \times 0.043 = 47.65 \text{ gr.}$$

$$\text{ENZIMA} = 1108.28 \times 0.0005 = 0.55 \text{ gr.}$$

$$\text{ALCOHOL}_{\text{FORMADO}} = (266.21 - 47.65) \times \frac{184}{360} = 111.71 \text{ gr.}$$

$$\text{CO}_2 \text{ expulsado} = (266.21 - 47.65) \times \frac{176}{360} = 106.85 \text{ gr.}$$

$$W_{total} = (AZUCAR + ENZIMA + ALCOHOL + H_2O) = 1070.70$$

$$V = W_{total} / \rho_{fermento} = (1070.70 / 1.011) = 1059.05 \text{ ml.}$$

Con este último dato se recalculan de nuevo todos los valores hasta convergencia (datos se mantengan constante).

Haciendo esto conseguimos:

FERMENTO

COMPONENTES	PRUEBA DE CALCULOS ITERATIVOS			
	CALC. 1 -----	CALC. 2 -----	CALC. 3 -----	CALC. 4 -----
AGUA	910.79	910.79	910.79	910.79
ENZIMA	0.55	0.53	0.53	0.53
AZUCAR	47.65	47.54	45.49	45.49
ALCOHOL	111.71	112.78	112.81	112.81
CO2	106.85	107.88	107.91	107.91
V	1059.05	1058.00	1057.98	1057.98
W total	1070.70	1069.64	1069.62	1069.62
AZUCAR consumida	218.56	220.67	220.72	220.72

De la tabla anterior hemos obtenido:

COMPOSICION FERMENTO	CANTIDAD
AGUA	910.79 g.
ENZIMA	0.53 g.
AZUCAR	45.49 g.
ALCOHOL	112.81 g.
CO2	107.91 g.
VOLUMEN	1057.98 ml.
Wtotal	1069.62 g.
AZUCAR consumida	220.72 g.

Entonces, un litro de fermento contiene:

COMPOSICION	CANTIDAD
AGUA	860.87 g.
ENZIMA	0.50 g.
AZUCAR	43.00 g.
ALCOHOL	106.63 g.
CO2	101.99 g.
VOLUMEN	1.00 l.
Wtotal	1011.00 g.
AZUCAR consumida	208.62 g.

Ahora, hallando el porcentaje de alcohol perdido:

De los datos de destilación, para un litro de fermento se tiene:

$$V_D = 340 \text{ ml.}; \quad T_{ref.} = 25^\circ\text{C}$$
$$\rho_{Mezcla} = 0.9456; \quad \text{Composición : } 32.81\%$$

Pág. 270, PERRY.

$$W_{Mezcla} = 340 \times 0.9456 = 321.50 \text{ gr.}$$

$$W_{Alcohol} = 321.50 \times 0.3281 = 105.48 \text{ gr.}$$

$$\% \text{ ALCOHOL PERDIDO} = \frac{(106.62 - 105.48)}{(100/106.62)} \times$$

$$\% \text{ ALCOHOL PERDIDO} = 1.069$$

COMPOSICION DEL DESTILADO CONDENSADO

$$\text{AGUA} = 216.00$$

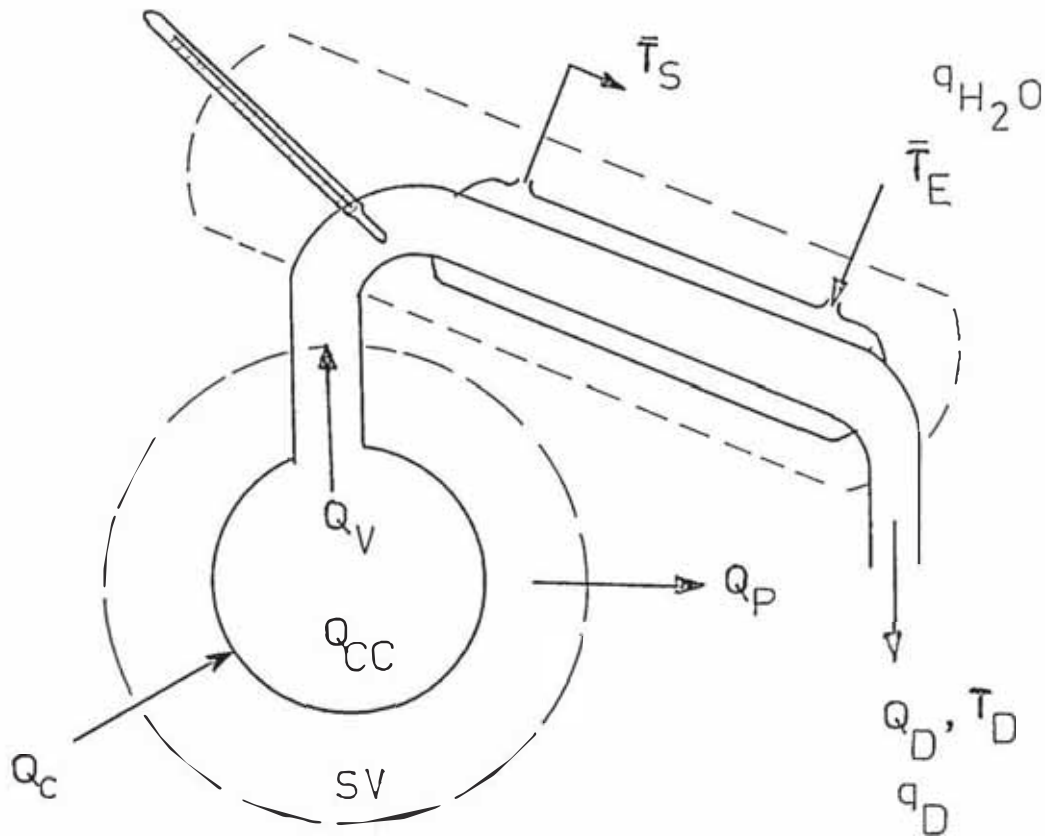
$$\text{ALCOHOL} = 105.48$$

COMPOSICION DE VAPOR DE LA MEZCLA

$$\text{AGUA} = 218.36$$

$$\text{ALCOHOL} = 106.63$$

3.6.2 BALANCE DE ENERGIA



CONDENSADOR- DESTILADOR

Balace de energía a través de la envolvente SV:

$$E + G = S + ACC$$

$$Q_C = Q_V + Q_P + Q_{CC}$$

donde:

$$Q_V = m_{H_2O} \times \Delta H_{H_2O} + m_{ALC} \times \Delta H_{V_{ALC}}$$

Cálculo del calor latente de vaporización del alcohol a una temperatura promedio de 90 °C

$$(\Delta H_{v_{Et_2O}})$$

Se tiene $\Delta H_{vapor} (78.3^\circ) = 204.26 \text{ Kcal/kg.}$

De la ecuación 4.8, pág. 125, Van Ness:

$$\frac{\Delta H_2}{\Delta H_1} = ((1-Tr_2)/(1-Tr_1))^{0.38}$$

$$T_{\text{alcohol}} = 929.76^\circ R$$

$$Tr_1 = (172.94 + 460)/(929.76) = 0.6807$$

$$Tr_2 = (194.00 + 460)/(929.76) = 0.7034$$

$$\Delta H_2 = 204.26 \times ((1-0.7034)/(1-0.6807))^{0.38}$$

$$\Delta H_2 = 198.61 \text{ Kcal/kg.}, \quad 90^\circ C$$

Reemplazando datos:

$$Q_v = (218.36 \times 544.14) + (106.63 \times 198.61)$$

$$Q_v = 139.994 \text{ Kcal.}$$

$$Q_{cc} = (m_{H_2O} \times C_{p^{90^\circ}}^{H_2O}) + (m_{alc} \times C_{p^{90^\circ}}^{alc}) + (m_{enz} \times C_{p_{enz}}) \Delta T$$

despreciando la masa de la enzima

Reemplazando datos:

$$Q_{cc} = ((860.87 \times 1.003275) + (106.63 \times 0.713) + (43 \times 0.301)) \times (90-25)$$

$$Q_{cc} = 61.92 \text{ Kcal.}$$

$$Q_v + Q_{cc} = 201. \text{ Kcal.}$$

Consumo de energía experimental:

$$Q_c = 0.55 \text{ kwh.}, \quad t = 1.94 \text{ h.}$$

$$201.914 + Q_p = Q_c = 0.55 \text{ kwh} \times 3600 \text{ s/h} \times 0.2329 \text{ cal}$$

$$Q_p = 259.23 \text{ kcal.}$$

$$\% Q_p = (259.23/461.14) \times (100)$$

$$\% Q_p = 56.21\%$$

3.7 CALCULO DEL COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERENCIA DE CALOR Y CALOR PERDIDO EN EL CONDENSADOR

Realizando un balance de energía en el condensador:

$$E + G^\circ = S + A^\circ$$

$$Q_v' - Q_I - Q'D - Q_p = 0, \text{ TR} = 25^\circ\text{C}$$

Donde:

$$Q_v' = Q_v + Q_{\text{sensiblev}}$$

$$Q_{\text{sensiblev}} = (m_{H_2O} \cdot C_{pH_2O} + m_{alc} \cdot C_{palc}) \Delta T$$

$$Q_{\text{sensible}} = (218.99 \times 1.003275 + 106.63 \times 0.713) \times (90 - 28)$$

$$Q_{\text{sensiblev}} = 18.337 \text{ Kcal.}$$

$$Q_v' = 139.994 + 18.330$$

$$Q_v' = 158.32 \text{ kcal.}$$

$$t_{\text{destilación}} = 1.94 \text{ h.}$$

$$Q_v' = 158.32/1.94$$

$$Q_v' = 81.61 \text{ Kcal/h}$$

$$Q_I = m_{H_2O} \cdot C_{pH_2O} \cdot \Delta T$$

$$Q_I = 6.18 \times 0.99876 \times (32.5 - 20)$$

$$Q_I = 77.15 \text{ Kcal/h}$$

$$Q'D = ((m_{H_2O} \cdot C_{pH_2O}) + (m_{alc} \cdot C_{palc})) \Delta T$$

$$Q'D = (((218.36 \times 0.9987) + (106.63 \times 0.699)) \times (28 - 25))/1.94) \times 10^{-3}$$

$$Q'D = 0.452 \text{ Kcal/h}$$

$$Q_p = 81.619 - 77.15 - 0.459$$

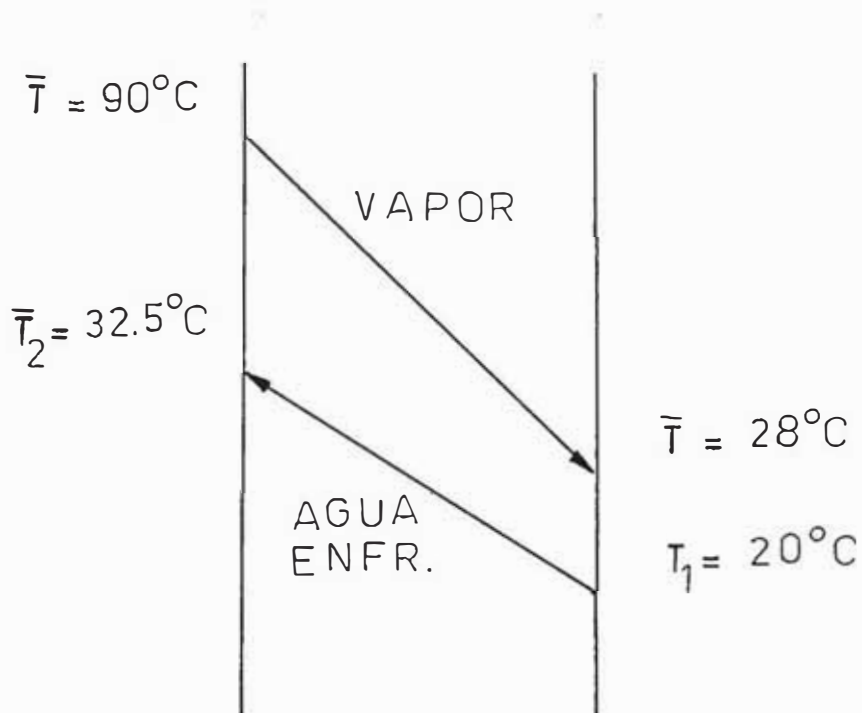
$$Q_p = 4.00 \text{ Kcal/h}$$

$$\%Q_p = (4.00/81.61) \times 100 = 4.91\%$$

COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERENCIA DE CALOR

$$LMTD = ((28 - 20) - (90 - 32.5)) / \ln(8/57.5)$$

$$LMTD = 25.097 \text{ } ^\circ\text{C}$$



$$U = Q_i / (A \cdot LMTD)$$

Donde el área del condensador, $A = 0.0239 \text{ m}^2$.

$$U = (77.15) / (0.0239 \times 25.097)$$

$$U = 128.62 \text{ Kcal/m}^2 \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{h.}$$

IV. INGENIERIA DE PROCESOS

4.1 DETERMINACION DE LAS VARIABLES DE OPERACION

4.1.1 DE LA ENZIMA

De acuerdo a los antecedentes encontrados, así como a los datos bibliográficos dados en el ANEXO 30, la enzima más recomendable es la SACCHARAMYCES, variedad ELLIPSOIDEUS, debido a la propiedad de formación de alcoholes ingeribles, como vinos, además de alcanzar un grado alcohólico aceptable. Esta enzima desaparece al final de la fermentación, logrando la degradación de los azúcares en poco tiempo, entre el cuarto y quinto día se transforma el 90% de los azúcares.

4.1.2 DEL JUGO DE FRUTA DE LA NARANJA

De los datos experimentales analizados, respecto al contenido de azúcar en el jugo, se determinó la naranja de variedad VALENCIA SELVA, como se demuestra en las TABLAS 2, 5, 6.; datos que serán útiles en la evaluación de variables para el escalamiento.

De acuerdo a las TABLAS 13 Y 14, hallamos valores para cada día transcurrido en la fermentación, respecto a: ACIDEZ VOLATIL, GRADO BRIX, GRADOS GAY LUSSAC, PORCENTAJE DE

ALCOHOL, valores que han sido graficados, como se puede apreciar en las FIGURAS 6, 7, 8 y 9.

En esta etapa experimental, se ha trabajado con los extractos o jugos a tres PH diferentes (3.5 4.0 4.5), para determinar las diferencias en cuanto a la calidad y rendimiento en contenido de ALCOHOL, considerando los GRADOS BRIX constantes y corregido para llegar al valor adecuado para el medio de fermentación.

4.1.3 DE LA UNIDAD DE FERMENTACION

De las pruebas experimentales realizadas, se ha observado la formación de abundante espuma, en los 5 primeros días de fermentación, alcanzando aproximadamente la tercera parte de la altura de jugo en el fermentador.

La formación de espuma es originada por la expulsión de CO₂, generado a su vez por la degradación de los azúcares, por acción de la ZIMASA de las enzimas, ver acápite 3.4, pág. 73A.

4.1.4 DE LA UNIDAD DE DESTILACION

De los balances de materia y energía, del acápite 3.6, se observa que Q_p en el calderín o sistema de calentamiento, es bastante alto,

debido al calentamiento exterior, con pérdidas de calor por radiación.

Las pérdidas de calor en el condensador son mucho menores, debido a las pérdidas de calor por conducción, donde los gradientes de temperatura son menores entre el sistema y el medio ambiente; el porcentaje de alcohol perdido en la destilación está dentro del rango de aceptación (porcentaje bajo por pérdidas de evaporación).

De la temperatura de destilación, se puede observar que no es única, debido a que está destilando una mezcla binaria.

La destilación se inicia con la temperatura de ebullición del alcohol, cuando se evapora inicialmente el componente más volátil, del mosto, la temperatura se va incrementando conforme la composición del destilado es mas rico en el componente menos volátil (H_2O), hasta finalizar la destilación, cuando la temperatura es muy cercana a la temperatura de ebullición del agua.

4.2 EVALUACION Y ANALISIS DE LAS VARIABLES DE PROCESO

4.2.1 DEL JUGO DE NARANJA

La variedad de naranja que se ha elegido es la VALENCIA SELVA, por las características y propiedades que se mencionan a continuación:

1° GRADO BRIX

La variedad de naranja VALENCIA, es la que mayor porcentaje de sólidos solubles contiene, de acuerdo al análisis dado: 10.2. Que se encuentra muy por encima del mínimo requerido. Se ha trabajado con un GRADO BRIX de 26, con corrección por adición de azúcar refinada.

2° PH

El PH del jugo de esta variedad, es muy cercano al PH óptimo de trabajo: 3.85.

La corrección a PH= 4.0 se realizó con CO_3Na_2 .

3° COMPOSICION QUIMICA

Como se puede observar en la TABLA 6, no es necesaria la adición de nutrientes para realizar la fermentación.

Otra de las ventajas, es que el contenido de grasa es casi nulo y la formación de GLICERINA por reacción de las grasas por acción enzimática casi no existe.

4° ABUNDANCIA DE PRODUCCION

Como se puede observar en la TABLA 10, la abundancia de producción es constante durante

todo el año, a excepción del mes de AGOSTO, en la Selva la producción de naranjas disminuye notablemente, los demás meses es constante el abastecimiento y normal.

4.2.2 DEL FERMENTO Y UNIDAD DE FERMENTACION

Como se puede observar en los resultados experimentales graficados en las FIGURAS 6, 7, 8 y 9, a mayor PH se observa mayor formación de alcohol, esto también implica la mayor formación de la acidez volátil y acidez total, siendo perjudicial para la calidad del alcohol.

De acuerdo a los resultados y recomendaciones dadas por FELIX (1980), que a PH mayores de 4.0, se originan otros fermentos perjudiciales, por lo tanto el PH elegido es 4.0.

Hasta el décimo primer día se observa que el fermento ha alcanzado el mayor grado alcohólico.

Finalizado el quinto día se observa la mayor actividad enzimática.

El PH del fermento va disminuyendo conforme transcurre el proceso de fermentación, debido a la formación de ácidos, dando un PH final de 3.59.

La temperatura de la fermentación varía, y la máxima temperatura es alcanzada entre el cuarto y quinto día, siendo los días de mayor transformación.

Es muy importante observar la formación de espuma, y debe considerarse en el diseño del fermentador. La formación de espuma alcanza la tercera parte de la altura del fermento o jugo, considerándose un recipiente de las siguientes dimensiones: $D = \frac{1}{2} H$.

Por lo tanto es necesario un área mayor libre para la expulsión de CO_2 , considerando $D = H$, obteniéndose una mejor condición del área.

Es necesario que el fermentador se encuentre totalmente aislado del medio ambiente, para mantener el gradiente de temperatura constante.

La agitación dentro del fermentador debe ser ligera, con la finalidad de uniformizar el sistema en la composición de oxígeno y ayudar a la expulsión de CO_2 .

4.2.3 DE LA UNIDAD DE DESTILACION

1° DEL CALDERIN

Debe tener la mayor área de transferencia de calor para un mejor aprovechamiento de la energía, con aislamiento del medio ambiente

para evitar las pérdidas de **energía** por radiación.

La altura del nivel de líquido debe estar a la altura del área de calentamiento.

La destilación así como los otros procesos, es por el sistema BATCH porque las propiedades del destilado no son constantes, sino que varían conforme avanza la destilación. Una vez terminada la destilación, el residuo del calderín (mosto agotado) se desecha para realizar una nueva carga.

2° DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO

El agua es el refrigerante por excelencia para muchos casos.

En la destilación del alcohol es necesario mantener una relación alta de circulación de agua por el condensador, para mantener la temperatura del condensado lo mas baja posible, para evitar las pérdidas del producto por evaporación.

El flujo de condensado debe ser en contracorriente, ya que se logra retirar mejor el calor del fluido caliente, alcanzando temperaturas cercanas a la temperatura de ingreso del refrigerante.

V. RESULTADOS OPTIMOS EXPERIMENTALES

5.1 RESULTADO DE LA ENZIMA

NOMBRE : LEVADURA SACCHARAMYCES CEREVICEAE
VARIEDAD : ELLIPSOIDEUS
TIPO : MONTRACHEW
RENDIMIENTO : 15.83 gramos azúcar invertida x 1°GL.
CONCENTRACION
DE ALCOHOL : 14.10 °GL.
CONCENTRACION
DE ENZIMA EN
EL JUGO : 0.50 g. ENZIMA / LITRO JUGO.

5.2 RESULTADOS DE LA NARANJA

VARIEDAD : VALENCIA
PROCEDENCIA : SELVA
COMPOSICION :

COMPONENTE	%PESO
JUGO	47.64
CASCARA	18.22
BAGAZO + SEMILLA	32.99
PERDIDAS	1.14
TOTAL	99.99

5.3 RESULTADOS OPTIMOS DEL JUGO DE LA NARANJA

PROPIEDAD	JUGO INCIAL	BRIX CORREGIDO
GRADO BRIX	10.200	26.000
DENSIDAD (g/cc)	1.021	1.062
VISCOSIDAD (cp)	4.897	5.113
PH	3.850	4.000
AZUCAR ADICIONADA (g/l. jugo)	0.000	156.000
TEMP. PASTEURIZACION		75 °C
TIEMPO PASTEURIZACION		15 min.

5.4 RESULTADO OPTIMOS DEL FERMENTO

PROPIEDAD	FERMENTO FINAL
GRADO BRIX	4.300
DENSIDAD	1.011 g/cc
PH INICIAL	4.000
PH FINAL	3.590
VISCOSIDAD	4.538 cp.
VARIACION TEMP. (°C)	20 - 23°C

5.5 RESULTADOS OPTIMOS DEL DESTILADO

PROPIEDAD	DESTILADO
DENSIDAD	0.9456 g/cc
VOLUMEN TOTAL	340 cc
PORCENTAJE EN PESO DE ALCOHOL	32.81 %
PORCENTAJE EN PESO DE AGUA	67.19 %
PESO DE ALCOHOL	105.48
PESO DE AGUA	216.00
TIEMPO DESTILACION	1.94 hrs.
TEMPERATURA DE ENTRADA	90 °C
TEMPERATURA DE SALIDA	28 °C

5.6 RESULTADOS OPTIMOS DEL AGUA DE ENFRIAMIENTO

PROPIEDAD	VALOR
FLUJO	103.0 cc/min.
TEMPERATURA DE ENTRADA	20. °C
TEMPERATURA DE SALIDA	32.5 °C
AREA TRANSF. CALOR	0.0239 m ² .

VI. ANALISIS DE LOS RESULTADO EXPERIMENTALES

6.1 PERSPECTIVA DE INDUSTRIALIZACION DE LOS CONSTITUYENTES DEL FRUTO DE LA NARANJA

1° Se ha determinado experimentalmente, que el jugo del fruto, sólo constituye el 47.64% en peso del total de la fruta (ver acápite 5.2, pág. 95), quedando un remanente del 52.36% de los otros constituyentes del fruto, razón por la cual es importante procesar industrialmente la cáscara, el bagazo y la semilla, teniendo como productos terminados al ACEITE ESENCIAL, la PECTINA CITRICA, y la HARINA, respectivamente. Estos productos comercialmente son muy importantes, debido a su rentabilidad económica.

Se ha determinado que la rentabilidad mensual, de acuerdo a la estructura del valor de venta de cada producto, (ver acápites 8.5, 8.6, 8.7 y 8.8) es de U.S. \$ 19,945 mensuales, donde U.S \$ 11,719 es la rentabilidad o utilidad del ALCOHOL, y U.S \$ 8,226 es la utilidad para el ACEITE ESENCIAL, PECTINA y HARINA.

Como podemos observar el alcohol constituye el 58.76% y los otros productos el 41.24% de la utilidad total mensual, lo cual justifica la implementación de la planta comercial para procesar todos los constituyentes del fruto de

la naranja.

- 2° La extracción del ACEITE esencial, se realizará mediante un equipo extractor por arrastre de vapor, teniendo en cuenta que el rendimiento está entre 1% y 3%.
- 3° El proceso de industrialización de la PECTINA CITRICA, se realizará mediante un reactor, teniendo en cuenta que el tiempo de residencia de la reacción es de 3 días.
- 4° Los remanentes de la cáscara, fibra y bagazo, serán procesados, mediante el secado, con una humedad máxima del 15%, para evitar la formación de hongos, mohos, etc.

6.2 ANALISIS DE LA ENZIMA SACCHARAMYCES TIPO MONTRACHEW

Es importante mencionar que el objetivo principal de la presente investigación, es la elaboración de un ALCOHOL para el consumo humano, de un alto valor comercial (Tipo WHISKY), razón por la cual se trabajó con la enzima mencionada, debido a que la producción de alcohol etílico es alta y con un 100% de pureza. Esta conclusión se puede observar en el CROMATOGRAMA del producto final analizado, ver FIGURA 10, pág. 101.

6.3 ANALISIS DE LA MATERIA PRIMA

La naranja de la variedad VALENCIA, debe ser de primera calidad, es decir que no presente podredumbre en la superficie exterior, ni magulladuras, para de esta manera lograr un rendimiento óptimo de alcohol etílico.

Se ha comprobado que la fruta que ha sufrido alteraciones físicas o químicas, producen otros alcoholes diferentes al etílico.

6.4 ANALISIS DEL JUGO

El prensado de la naranja para la obtención del jugo, debe ser adecuado, porque al realizarlo con una mayor presión, se rompen los poros que contienen el aceite esencial de la cáscara; también si la presión es muy alta, los otros compuestos químicos que contiene la cáscara, se combinan con el jugo, y es probable que se produzcan alteraciones químicas de éstos.

La adición de azúcar para la corrección de los GRADOS BRIX, debe ser pura, sin materias extrañas coloreadas, para evitar la coloración del alcohol obtenido.

Es importante analizar el jugo, luego de realizar la pasteurización, mediante un análisis microbiológico; garantizando de esta manera que las enzimas actúen libremente sin la presencia de otros microorganismos extraños.

6.5 ANALISIS DE LA FERMENTACION ENZIMATICA

- 1° En el diseño de la unidad de fermentación adiabática, es importante considerar la formación de espuma durante la fermentación debido a la producción de CO₂ durante la reacción. Técnicamente este inconveniente se soluciona, instalando unos rociadores de spray instalados dentro del reactor; o también, considerando un tercio de espacio libre mínimo del nivel del líquido; otra posibilidad es el diseño de unos deflectores de espumas en el nivel superior del reactor.
- 2° La película o nata formada al final de la fermentación es eliminada en la destilación final. El calentamiento del fermento final, elimina las enzimas desactivándolas.
Si se desea comercializar el fermento como producto final, se recomienda filtrarlo y luego clarificarlo.
- 3° Como se ha mencionado anteriormente, el tiempo óptimo de fermentación es de (11 once) días, según se aprecia en las FIGURAS 6, 7, 8 y 9, donde observamos que a partir del décimo día, las curvas tienden a ser asintóticas, momento en cual se debe de terminar el proceso de fermentación, reduciendo de esta manera los costos operativos.

6.6 ANALISIS DEL DESTILADO

La calidad del producto final obtenido se determina por el porcentaje de alcohol en el destilado final.

Para obtener un destilado con un porcentaje mayor de alcohol, se debe de redestilar el producto hasta llegar al punto azeotrópico, momento en el cual se termina la destilación.

Se lograría un mejor resultado si la destilación se realiza en una columna de platos.

VII. ESCALAMIENTO A PLANTA COMERCIAL

7.1 INTRODUCCION

La, planta comercial diseñada, podrá procesar alcohol de naranja de la variedad valencia, para lo cual se han encontrado los parámetros y variables principales de diseño y operación.

Es importante mencionar la posibilidad de procesar cualquier variedad de naranja.

Con el ajuste de los parámetros necesarios para el funcionamiento en algunos de los equipos, para determinar la capacidad de procesamiento, se ha tomado en cuenta la producción del segundo mes mas bajo (julio) en un 25%, con la finalidad de no entorpecer el abastecimiento para el consumo directo de todo el país.

Se ha considerado tener un stock necesario para afrontar el mes de escasez (agosto).

El almacenaje de la naranja se debe realizar en ambientes de atmósfera controlada, ver acápite 2.5 (pág. 40).

7.2 FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA

como inicio, el funcionamiento de la planta se ha diseñado para la siguiente producción:

TURNO	:	8 horas
DIARIO	:	1 turno

MENSUAL : 25 días
ANUAL : 12 meses.

7.3 CAPACIDAD DE PROCESAMIENTO DIARIO

NARANJAS : 3,000.0 kilogramos
JUGO : 1,399.8 litros.

7.4 CAPACIDAD DE PRODUCCION DIARIA

ALCOHOL : 481.286 Kg. (al 32.8%)
ACEITE : 5.460 Kg.
PECTINA : 27.33 Kg.
HARINA : 148.45 Kg.

7.5 RELACION DE EQUIPOS DISEÑADOS

E	Q	U	I	P	O	CODIGO
1.	BOMBA	CENTRIFUGA	DE	LAVADO		(BL)
2.	PRENSA	DE	EXPRIMIDO			(PE)
3.	BOMBA	CENTRIFUGA	PARA	EL	JUGO	(B1)
4.	PASTEURIZADOR	CON	AGITADOR			(Pz)
5.	BOMBA	CENTRIFUGA	DEL	PASTEURIZADOR		(B2)
6.	TANQUE	DE	CULTIVO			(Tkc)
7.	BOMBA	CENTRIFUGA	PARA	EL	JUGO	DE
		BRIX	CORREGIDO			(Bs)
8.	CALDERIN	(REBOILER)	DEL	DESTILADOR		(Cd)
9.	CONDENSADOR	HORIZONTAL				(Co)
10.	BOMBA	CENTRIFUGA	PARA	EL	TRASVASE	
		DEL	FERMENTADOR	AL	DESTILADOR	(B4)
11.	TANQUE	RECEPTOR	DE	ALCOHOL		(Tka)
12.	TANQUE	DE	AGUA	DE	ENFRIAMIENTO	(Tkh)
13.	BOMBA	CENTRIFUGA	PARA	EL	AGUA	DE
		ENFRIAMIENTO	DEL	CONDENSADOR		(B5)
14.	FERMENTADOR	ADIABATICO				(Fa)
15.	CALDERO					(Ca)
16.	EXTRACTOR	POR	ABRASTRE	DE	VAPOR	(Ev)
17.	MOLINO	MICROPULVERIZADOR	PARA	HARINA		
		Y	PECTINA			(M)
18.	TAMIZADORA	VIBRATORIA				(Tv)
19.	SECADOR	PARA	HARINA	Y	PECTINA	(S)
20.	REACTOR	PARA	PECTINA			(Rp)
21.	TANQUE	PARA	PETROLEO			(Tkp)

7.6 DISEÑO DE INGENIERIA DE LOS EQUIPOS PARA LA PLANTA INDUSTRIAL

7.6.1 DISEÑO DE LA BOMBA CENTRIFUGA DE LAVADO (BL)

Asumiendo una presión de salida:

$$P = 60 \text{ psig} = 42272.81 \text{ kgf/m}^2.$$

Tiempo de lavado de 1 hora, para 3 tn/turno de naranjas. Considerando $V_{H_2O} = 6 \text{ M}^3$.

$$F_{E_2O} = 6 \text{ m}^3 / 3600 \text{ s} = 1.666 \times 10^{-3} \text{ m}^3 / \text{s}$$

$$P^{\circ}_{BL} = P \times Q_{E_2O} = 70.45 \text{ kgf.m/s}$$

$$P^{\circ}_{BL} = 0.925 \text{ HP}, \quad (0.013123 \text{ HP} = 1 \text{ kgf.m/s})$$

Considerando una eficiencia del 75%:

$$P^{\circ}_{BL} = 0.925 / 0.75 \quad (\text{Real})$$

$$P^{\circ}_{BL} = 1.23 \text{ HP}, \quad (\text{Real})$$

$$P^{\circ}_{BL} = 1.50 \text{ HP}, \quad (\text{Comercial})$$

7.6.2 DISEÑO DE LA PRENSA EXPRIMIDO (PE)

De la ecuación (pág. 1679 del Perry), se tiene:

$$\frac{W \cdot V^a}{C \cdot W_0} = P^{1/2} \theta^{1/6}$$

Donde:

W = peso de jugo exprimido.

W₀ = peso de jugo total contenido.

C = constante de prensado, dependiendo del tipo de material.

P = presión a aplicar, kgf/cm².

θ = tiempo de prensado, h.

v = viscosidad cinemática a la temperatura de prensado, stocks.

a = Exponente de la viscosidad, dependiendo del material.

Considerando una efectividad de prensado de 98%, para un consumo diario de 3.061 Tn. de naranja:

De los datos de la TABLA 11

JUGO = 382.64 x 0.47641 = 182.29 Kg/h

CASCARA+ SEMILLA = 382.64 X 0.1822 = 69.72 Kg/h

PERDIDAS = 382.64 X 0.0114 = 4.36 Kg/h

Datos:

$$W = 178.65$$

$$W_0 = 182.29$$

$$\Theta = 1 \text{ h}$$

$$\mu = 4.897 \text{ cp.}$$

$$\rho = 1.021 \text{ g/cc.}$$

$$\nu = 5 \text{ stoks}$$

$$a = 0.03125$$

$$C = 0.09609$$

Reemplazando valores:

$$P = 115.029 \text{ kgf/cm}^2.$$

Considerando una eficiencia del 90%

$$P = 127.8 \text{ kgf/cm}^2. \text{ , real.}$$

7.6.3 DISEÑO DE LA BOMBA CENTRIFUGA PARA EL JUGO (B1)

Se tiene:

$$V_{\text{JUGO}} = 1399.8 \text{ l.}$$

$$\rho_{\text{JUGO}} = 1.021 \text{ kg/l.}$$

$$W_{\text{JUGO}} = 1429.19 \text{ kg.}$$

Considerando un tiempo de bombeo de 7 minutos

$$m_{\text{JUGO}} = 3.4028 \text{ kg/s.}$$

$$P_{B1} = m_{\text{JUGO}} \cdot g \cdot H$$

$$P_{B1} = 3.4028 \text{ Kg/s} \times 9.81 \text{ m/s}^2 \times 2.5 \text{ m} \\ \times 0.013123$$

$$P_{B1} = 1.095 \text{ HP}$$

Para una eficiencia del 75%

$$P_{B1} = 1.46 \text{ HP, real}$$

$$P_{B1} = 1.5 \text{ HP, comercial}$$

7.6.4 DISEÑO DEL PASTEURIZADOR CON AGITADOR (Pz)

De los resultados experimentales óptimos:

$$V_{\text{JUGO}} = 1399.8 \text{ l/día, } \rho = 1.021 \text{ kg/l.}$$

$$W_{\text{JUGO}} = 1429.19 \text{ Kg.}$$

Adición de azúcar:

$$\begin{array}{r} 1 \text{ litro} \quad \text{-----} \quad 0.156 \text{ kg. azúcar} \\ 1399.8 \text{ l} \quad \text{-----} \quad \times \end{array}$$

$$W_{\text{AZUCAR}} = 218.36 \text{ Kg.}$$

$$\text{PESO TOTAL} = 1647.55 \text{ kg.}$$

$$\rho = 1.062 \text{ kg/l. , para GRADOS BRIX corregido.}$$

$$V_{\text{total}} = 1551.37 \text{ l. , GRADOS BRIX corregido.}$$

$$V_{\text{PASTEURZ}} = 1.25 \times V_{\text{total}} \text{ GRADOS BRIX CORREGIDO} = 1939.21 \text{ litros.}$$

$$D = H$$

$$\pi \times D^3/4 = 1939.21$$

$$D = 1.35 \text{ cm.}$$

$$H_{\text{JUGO}} = 1399.8 \times 10^3 / ((67.5)^2 \times \pi)$$

$$H_{\text{JUGO}} = 97.79 \text{ cm.}$$

CALCULO DE LA POTENCIA DEL AGITADOR

Considerando:

$$n' = 4 \text{ RPS}$$

$$Da = 0.45 \text{ m.}$$

$$\rho = 1.062 \text{ kg/m}^3.$$

$$\mu = 0.01421 \text{ kg/m.s}$$

$$NRe = n' \cdot Da^2 \cdot \rho / \mu = 4 \times (0.45)^2 \times 1062 / 0.01421$$

$$NRe = 60,578$$

$$Nfr = n'^2 \cdot Da / g = 4^2 \times 0.45 / 9.81 = 0.734$$

Aplicando la ecuación de potencia 9-14, pág. 271, Mc. Cabe Smith:

$$Po = \phi \cdot Nfr^{m'} \cdot n'^3 \cdot Da^5 \cdot \rho / gc.$$

$$m' = (a - \log(NRe)) / b$$

De la tabla 9-1, pág. 268, Mc. Cabe, considerando un agitador de hélice de 3 palas, sin deflectores, de la FIGURA 9-15, Curva B:

$$\phi = 0.58$$

Donde:

$$b = 18$$

$$a = 1.7$$

$$m' = -0.17124$$

$$Po = 0.58 \times (0.734)^{-0.17124} \times 4^3 \times 0.45^5 \times 1062 / 9.81$$

$$Po = (78.185 \text{ Kg. m/s}) \times (0.013123 \text{ HP/Kg. m/s})$$

$$Po = 1.026 \text{ HP, considerando una eficiencia del 75%.$$

$$P_o = 1.368 \text{ HP, real}$$

$$P_o = 1.5 \text{ HP, comercial}$$

CALCULO DE LA ENERGIA

$$Q_{\text{PASTEURZ}} = m_{\text{jugo}} \cdot C_{p_{\text{jugo}}} \cdot \Delta T$$

$$Q_{\text{PASTEURZ}} = (m_{\text{H}_2\text{O}} \cdot C_{p_{\text{H}_2\text{O}}} + m_{\text{azúcar}} \cdot C_{p_{\text{azúcar}}}) \Delta T$$

Reemplazando datos:

$$T_{\text{calentamiento}} = 75^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{inicio}} = 20^\circ\text{C}$$

$$t_{\text{calentamiento}} = 15 \text{ minutos}$$

$$Q_{\text{PASTEURZ}} = (1274.92 \times 1.003275 + 372.63 \times 0.301) (75-20)$$

$$Q_{\text{PASTEURZ}} = 76,519.13 \text{ kcal/día}$$

CALCULO DEL AREA DE TRANSFERENCIA Y COEFICIENTE

GLOBAL DE TRANSFERENCIA DE CALOR

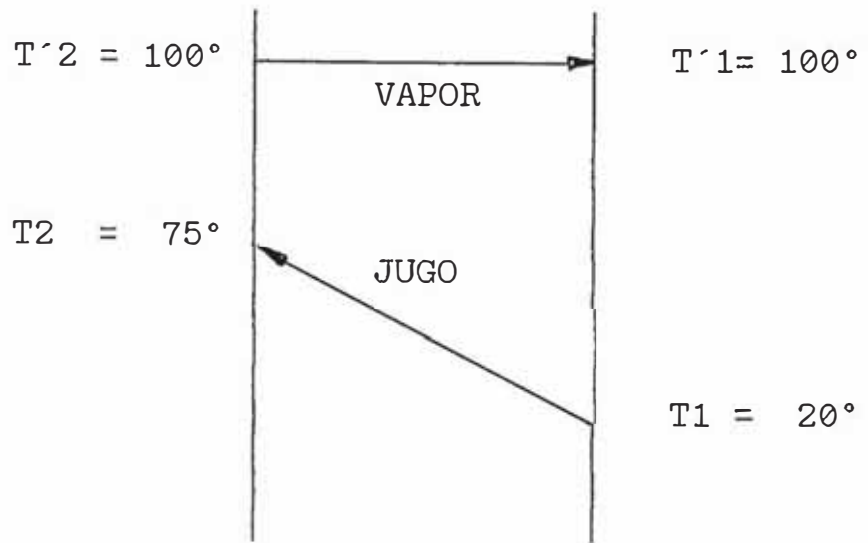
$$A = \pi \cdot R^2 + 2\pi R \cdot H_L$$

$$A = (67.5^2 + 2 \times 67.5 \times 97.79)\pi$$

$$A = 5.5788 \text{ m}^2.$$

$$\text{LMTD} = ((100 - 20) - (100 - 75)) / \ln (80/25)$$

$$\text{LMTD} = 47.28$$



$$U = Q_{\text{PASTEURZ}} \cdot (A \cdot \text{LMTD})$$

Considerando un tiempo de 2 horas

$$Q_{\text{PASTEURZ}} = 76519.13/2 = 38259.56 \text{ Kcal/h}$$

$$U = (38259.56 \text{ kcal/h}) / (5.5788 \text{ m}^2 \cdot 47.28^\circ\text{C})$$

$$U = 145.051 \text{ kcal/h} \cdot \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

CALCULO DE LA CANTIDAD DE VAPOR

$$\Delta H_v = 537.93 \text{ kcal/kg, vapor saturado a } 100^\circ\text{C}$$

$$Q_v = m_v \cdot \Delta H_v$$

$$m_v = 76519.13/537.93$$

$$m_v = 142.25 \text{ kg.}$$

Agua de enfriamiento:

$$Q_{\text{PASTEURZ}} = m_{\text{H}_2\text{O}} \cdot C_p \cdot \Delta T$$

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = 76519.13 / (10 \times 0.9987)$$

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = 7661.9 \text{ kg.}$$

CALCULO DE LA CAIDA DE PRESION POR FRICCION

$$F = 32 \cdot f \cdot L \cdot q^2 / (\pi^2 \cdot \epsilon_c \cdot D^5)$$

Donde:

$$L = 4\text{m.}, \text{ longitud de la tubería.}$$

$$q = 0.00369 \text{ m}^3/\text{s}, \text{ gasto volumétrico.}$$

$$g_c = 9.81 \text{ kgm. m/kgf s}^2.$$

$$D = 2.25'' = 0.057 \text{ m, de la pág. 581, FIG. 25, Perry.}$$

$$v = 1.438 \text{ m/s}$$

$$\rho = 1,062 \text{ kg/m}^3.$$

$$\mu = 0.0142 \text{ kg/m} \cdot \text{s}$$

$$m = 14,121 \text{ kg/h}, \text{ flujo másico}$$

$$N_{Re} = D \cdot v \cdot \rho / \mu = 0.057 \times 1.438 \times 1,062 / 0.0142$$

$$N_{Re} = 6,132, \text{ flujo laminar, de la FIG. 23, pág. 574, Perry}$$

$$f = 0.00225$$

$$F = (32 \times 0.00225 \times 4 \times 0.00369^2) / (\pi^2 \times 9.81 \times (0.057)^5)$$

$$F = 0.0673 \text{ m} \cdot \text{kgf} / \text{kgm}$$

$$\Delta P = F \times \rho = 0.0673 \times 1,062 = 71.48 \text{ kgf/m}^2.$$

$$P_o = q \cdot \Delta P = 71.48 \times 0.00369$$

$$P_o = 0.0035 \text{ HP.}$$

Como se observa la contribución por la pérdida de carga es despreciable.

7.6.5 DISEÑO DE LA BOMBA CENTRIFUGA DEL PASTEURIZADOR (B2)

Considerando que el pasteurizador debe de ser descargado en 7 minutos, y una altura de 2.5 m.

$$Q_{\text{jugo}} = 1647.55 / (7 \times 60) \text{ kg/s} = 3.92 \text{ Kg/s.}$$

$$P_{\text{OB2}} = Q_{\text{jugo}} \cdot g \cdot h = 3.923 \times 9.81 \times 2.5 \\ \times 0.013123$$

$$P_{\text{OB2}} = 1.26 \text{ HP, considerando una eficiencia} \\ 75\%$$

$$P_{\text{OB2}} = 1.68 \text{ HP, real}$$

$$P_{\text{OB2}} = 2.0 \text{ HP, comercial}$$

7.6.6 DISEÑO DEL TANQUE DE CULTIVO (TKc)

Cálculo de la cantidad de enzima:

$$0.529 \text{ g. enzima} \quad \underline{\hspace{2cm}} \quad 1 \text{ litro jugo}$$

$$X \quad \underline{\hspace{2cm}} \quad 1399.8 \text{ l.}$$

$$W_{\text{ENZIMA}} = 740.49 \text{ g. enzima (concentración} \\ 1\%)$$

$$V_{\text{jugo}} = (740.49 / 0.01) \times 10^{-3} = 74.05 \text{ l.}$$

$$V_{\text{cultivo}} = 1.5 \times 74.19 = 111.05 \text{ l.}$$

$$D = H = 51.09 \text{ cm.}$$

7.6.7 DISEÑO DE LA BOMBA CENTRIFUGA PARA EL JUGO DE GRADOS BRIX CORREGIDO (B3)

$$F_{\text{jbc}} = 74.05 \times 1.062 = 78.64 \text{ kg.}$$

Asumiendo que la descarga es de 2 minutos.

$$\begin{aligned} Q_{Jbc} &= 78.64/120 = 0.655 \text{ kg/s.} \\ P_{OVB} &= F_{Jbc} \cdot g \cdot h = 0.655 \times 9,81 \times 2.5 \\ P_{OVB} &= 15.09 \text{ kgf} \cdot (\text{m/s}) \times 0.013123 \\ &\text{HP}/(\text{kgf} \cdot \text{m/s}) \\ P_{OVB} &= 0.2109 \text{ Hp, considerando} \\ &\text{eficiencia 75\%} \\ P_{OVB} &= 0.281 \text{ Hp, real} \\ P_{OVB} &= 1/3 \text{ HP, comercial} \end{aligned}$$

7.6.8 DISEÑO DEL CALDERIN (REBOILER) DEL DESTILADOR (CD)

Es necesario tener un área máxima de transferencia de calor, así como el área libre de evaporación debe ser la adecuada.

$$D = H$$

$$V_{Jugo} = 1399.8 \text{ l}, \quad \rho = 1.021 \text{ kg/l.}$$

CALCULO DEL VOLUMEN DEL FERMENTO

Haciendo un balance de masa:

- Composición inicial

$$\begin{aligned} \text{AGUA} &= 1286.41 \text{ kg.} \\ \text{AZUCAR INV.} &= 142.78 \text{ kg.} \\ \text{PESO TOTAL} &= 1429.19 \text{ kg.} \end{aligned}$$

- GRADOS BRIX CORREGIDO:

$$\begin{aligned} \text{DENSIDAD} &= 1.062 \text{ kg/l.} \\ \text{ADICION AZUCAR} &= 1399.8 \times 0.156 = 218.37 \text{ kg.} \\ \text{AZUCAR INVERTD} &= 218.37 \times 360/342 = 229.86 \text{ kg.} \\ \text{TOTAL AZUC.INV.} &= 372.64 \text{ kg.} \end{aligned}$$

- COMPOSICION

AGUA	= 1286.41	- (agua consum)
	= 1274.92	
AZUCAR	= 372.64	
VOLUMEN TOTAL	= 1551.37	
PESO TOTAL	= 1647.56	
AGUA CONSUMIDA	= 11.49	

Composición del fermento final:

Asumiendo que el volumen del fermento es el volumen anterior del GRADO BRUX corregido = 1551.37 l.

GRADO BRUX = 4.3, con respecto al volumen

CALCULO 1°

AZUCAR = $0.043 \times 1551.37 = 66.71$ kg.

ENZIMA = $0.5 \text{ g/l} \times 1551.37 = 0.775$ kg.

AZUCAR CONSUMIDA = $372.64 - 66.71 = 305.93$ kg.

ALCOHOL FORMADO = $305.93 \times 184/360 = 156.36$

CO₂ EXPULSADO = $305.93 \times 176/360 = 149.56$

Entonces:

PESO TOTAL = 1498.76 = $W_{H_2O} + W_{AZUCAR} + W_{ENZIMA} + W_{ALCOHOL}$

Recalculamos V_T , como la densidad = 1.011

$V_T = 1498.76/1.011 = 1482.25$ l.

Con este V_T , se continúan los cálculos, hasta encontrar los pesos constantes.

Composición del fermento final:

	PRUEBAS DE CALCULOS ITERATIVOS			
	CALC. 1	CALC. 2	CALC.3	CALC. 4
AGUA	1274.92	1274.92	1274.92	1274.92
AZUCAR	66.71	63.74	63.68	63.68
ENZIMA	0.775	0.721	0.74	0.74
ALCOHOL	156.36	157.88	157.91	157.91
CO2	149.56	151.01	151.05	151.05
VOLUMEN TOTAL	1551.76	1482.45	1480.99	1480.96
PESO TOTAL	1498.76	1497.28	1497.25	1497.25
AZUCAR CONSUMIDA	308.89	308.96	308.96	308.96

$$V_{\text{FERMENTO}} = 1,480.96 \text{ l.}$$

$$V_{\text{CALDERIN}} = 1.5 V_{\text{FERMENTO}} = 2,221.44 \text{ l.}$$

$$D = H = 141.4 \text{ cm.}$$

AREA DE TRANSFERENCIA DE CALOR

$$A_T = A_{\text{base}} + A_{\text{lateral}} = \left(\frac{D^2}{4} + (D \cdot H_L) \right) \cdot \pi$$

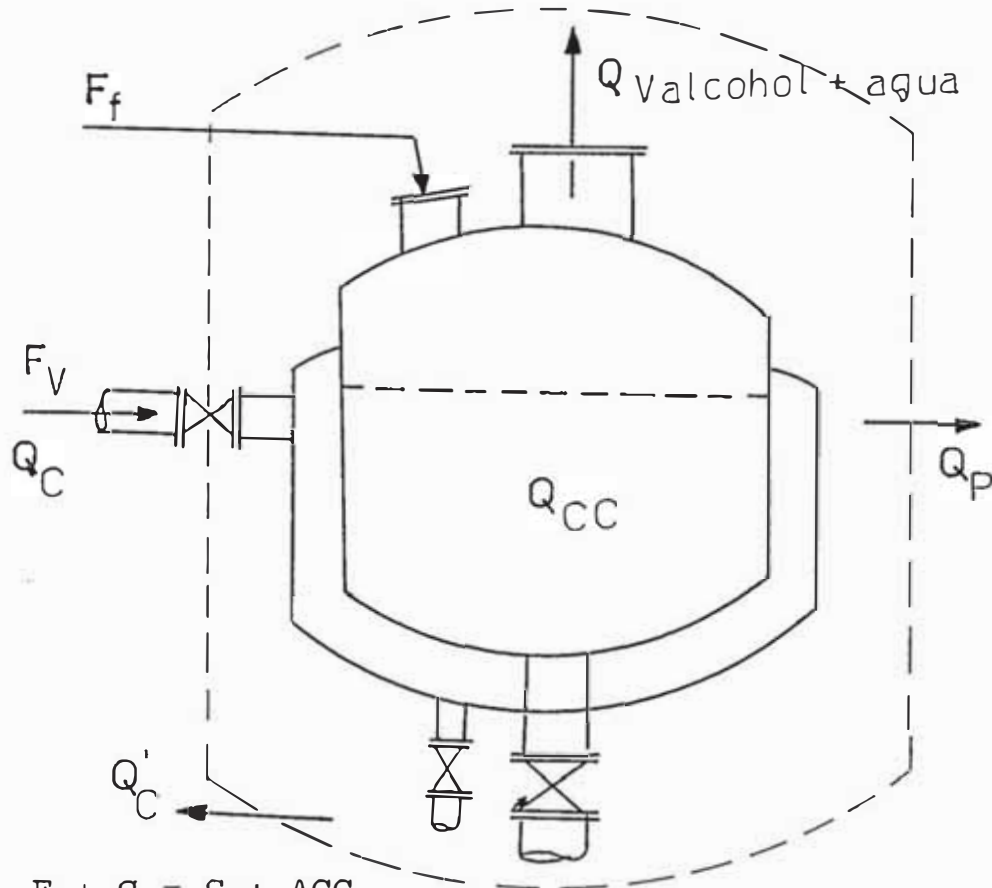
Donde:

$$H_L = \left(\frac{1480.96 \times 4}{\pi \times 141.4^2} \right) \times 10^3 = 94.25 \text{ cm.}$$

$$A_T = 5.757 \text{ m}^2.$$

BALANCE DE ENERGIA

Considerando una destilación por lotes:



$$E + G = S + ACC$$

$$Q_c = Q_v + Q_p + Q_c' + Q_{cc}$$

$$Q_v = m_{H_2O} \cdot \Delta H_{vH_2O} + m_{alcohol} \cdot \Delta H_{valcohol}$$

Donde:

$$m_{alcohol} = 157.91 \text{ kg. alcohol puro.}$$

De los resultados experimentales:

$$m_{alcohol} + m_{H_2O} = 157.91 / 0.3281$$

$$m_{mezcla} = 481.286 \text{ kg.}$$

$$m_{H_2O} = 323.47 \text{ kg.}$$

Reemplazando datos:

$$Q_v = (323.47 \text{ kg.} \times 544.14 \text{ kcal/kg}) + (157.91 \text{ kg.} \times 198.61 \text{ kcal/kg})$$

$$Q_v = 207,378.84 \text{ kcal.}$$

$$Q_{cc} = (m_{H_2O} \cdot \bar{C}_{pH_2O} + m_{alc} \cdot \bar{C}_{palc} + m_{ENZ} \cdot \bar{C}_{pENZ}) \Delta T$$

Despreciando la contribución de la enzima,

$$T_{ref} = 25 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Reemplazando datos:

$$Q_{cc} = (1274.92 \times 1.003275 + 157.91 \times 0.713 + 63.68 \times 0.301) 70$$

$$Q_{cc} = 98,759.70 \text{ kcal.}$$

$Q'c$ = calor sensible del vapor.

$$Q'c = m_{vapor} \cdot \frac{25-100^\circ}{conds.} \cdot C_{pvapor} \cdot \Delta T$$

Asumiendo: $Q_p = 10\%$ de Q_c

$$0.9 Q_c = Q_v + Q'c + Q_{cc}$$

$$0.9 (m_{vapor} \cdot \Delta H_{vapor}) = Q_v + m_{vapor} \cdot C_{pvapor} \cdot \Delta T + Q_{cc}$$

Reemplazando datos:

$$0.9(m_v \times 537.93) = 207378.84 + m_v \times 1.003275 \times 75 + 98759.7$$

$$m_v = 743.25 \text{ kg.}$$

$$Q_c = m_v \cdot \Delta H_{vapor} = 743.25 \times 537.93$$

$$Q_c = 399,814.28 \text{ kcal.}$$

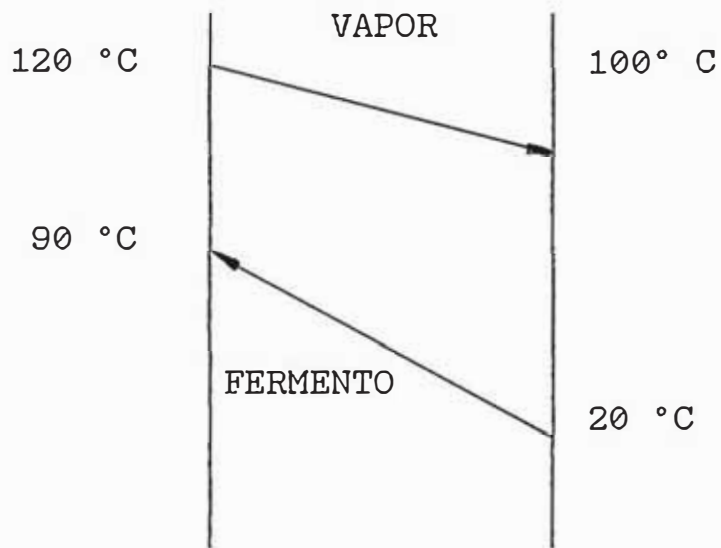
$$Q_p = 39,981.4 \text{ kcal, por conducción.}$$

CALCULO DEL COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERENCIA DE CALOR

$$U = Q_c / (A \cdot LMTD)$$

$$LMTD = ((100-20) - (120-90)) / \ln(80/30)$$

$$LMTD = 50.97 \text{ } ^\circ\text{C}$$



$$A = 5.757 \text{ m}^2.$$

$$U = (399814.26 / 1.94 \text{ Kcal/h}) / (50.97 \times 5.757)$$

$$U = 702.33 \text{ kcal } / (^\circ\text{C} \cdot \text{Hr} \cdot \text{m}^2)$$

7.6.9 DISEÑO DEL CONDENSADOR HORIZONTAL (Co)

$$m_v = 481.286 / 1.94 \text{ kg/h}$$

$$m_v = 248.085 \text{ kg/h, flujo másico del vapor de agua + alcohol.}$$

$$P = 15 \text{ psig, presión de operación}$$

$$\bar{T}_{\text{ebullic}} = 90 \text{ }^\circ\text{C}$$

Fluido de enfriamiento: agua

$$\bar{T}_1 = 20 \text{ }^\circ\text{C} \quad : \quad \bar{T}_2 = 32.5 \text{ }^\circ\text{C}$$

Asumiendo:

- 1° Lt = 8 ft. = 2.44 m., longitud de tubos
- 2° DE = 3/4" = 0.01905 m, 16 BWG
- 3° Arreglo triangular, distancia de centros 1"

De los datos del calderín: $Q_v = 106,896.31$ kcal/h.

CALCULO DE LA CANTIDAD DE AGUA

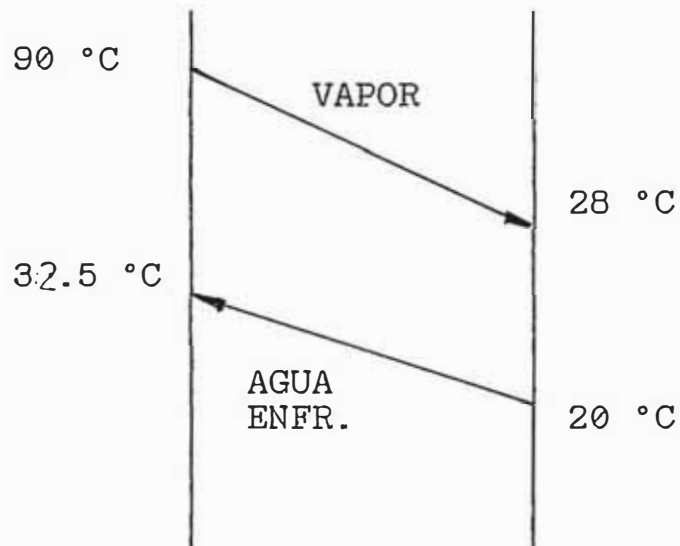
$$q_{H_2O} = Q_v / (C_p \cdot \Delta T) = 106896.31 / (0.9987 \cdot (32.5 - 20))$$

$$q_{H_2O} = 8,562.84 \text{ kg/h.}$$

$$Q_v = 248.085 \text{ kg/h}$$

$$LMTD = ((28 - 20) - (90 - 32.5)) / \ln(8/57.5)$$

$$LMTD = 25.097 \text{ } ^\circ\text{C}$$



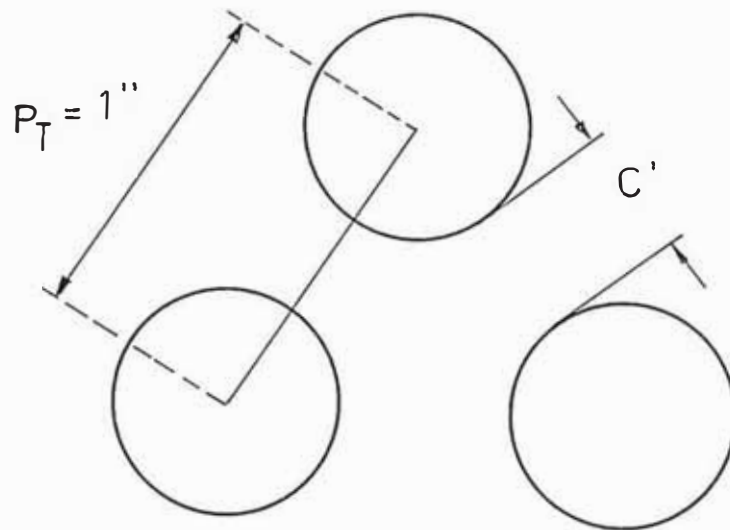
Condensador de flujo en contracorriente

Asumiendo: $U_D = 250$ kcal/m²·°C·h, coeficiente global diseño

CALCULO DEL AREA TOTAL

$$A_T = Q_v / (U_D \cdot LMTD) = 106896.31 / (250 \times 25.097)$$

$$A_T = 17.037 \text{ m}^2.$$



$$N_t = A_T / (L_t \cdot a_E)$$

$$a_E = (3/4) \times 2.54 \times \pi / 100 = 0.0598 \text{ m.}$$

$$N_t = 116.66 \text{ tubos, } N_t = 117 \text{ tubos.}$$

Suponiendo 6 pasos para el lado de los tubos

$$DE = 3/4, \text{ en arreglo triangular } 1''$$

De la tabla 9, el valor más cercano es 118

$$\text{Entonces: } DI = 15 \frac{1}{4} = 0.38735 \text{ m.}$$

$$DE = 0.01905 \text{ m.}$$

$$A_c = 118 \times 2.44 \times 0.05984 = 17.23 \text{ m}^2.,$$

área corregida

$$U_{DC} = Q / (A_c \cdot LMTD) = 247.22 \text{ kcal/h.m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

coeficiente de diseño

corregido

Considerando 5 deflectores, espaciamento de los

$$\text{deflectores } B = 0.406 \text{ m; } C' = 0.00635 \text{ m.}$$

$$P_T = 0.0254$$

$$a_a = DI \cdot C' \cdot B / P_T = 0.0393 \text{ m}^2.$$

a_e = área de flujo para el lado de la coraza transversal.

CALCULO DE LA VELOCIDAD MASICA DEL VAPOR

$$G_s = m_v/a_e = 248.085/0.0393 = 6312.59 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{h}$$

CALCULO DE LA CARGA DE CONDENSADO PARA LOS TUBOS HORIZONTALES

$$G'' = m_v/(L_t \cdot N_t^{2/3}) = 218.085/(2.44 \times 118^{2/3})$$

$$G'' = 4.226 \text{ kg./h} \cdot m_{\text{tubo}}$$

Para el agua de enfriamiento:

$$G_t = m_{H_2O} \cdot a_t$$

$$a_t = N_t \cdot a'_t/n, \quad a'_t = 0.000195 \text{ m}^2$$

$$a_t = 118 \times 0.000195/6$$

$$a_t = 0.003835 \text{ m}^2, \quad \text{área total del flujo de los tubos.}$$

$$G_t = 8562.84/0.003835 = 2232813.56 \text{ kg/h} \cdot \text{m}^2$$

$$v = G_t / \rho_{H_2O} = 2232813.56/998 = 0.621 \text{ m/s.}$$

$$v = 2.039 \text{ ft/s.}$$

$$T_a = (32.5 + 20)/2 = 26.25 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$Re_t = D \cdot G_t/\mu$$

$$\text{Donde= } D = 0.62 \text{ in.} = 0.0157 \text{ m, TABLA 10}$$

$$\mu = 2 \text{ cp} = 7.217 \text{ kg/m} \cdot \text{hr.}$$

$$N_{Re} = 4856.7, \text{ flujo laminar.}$$

$$h_i = 530 \text{ btu/ft}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{ }^\circ\text{F} = 799 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{ }^\circ\text{C}$$

$$h_{i0} = h_i \cdot (D_i/D_e) = 799 \times (0.62/0.75) = 660 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{ }^\circ\text{C}$$

$$h_{i0} = 660 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{ }^\circ\text{C}$$

Asumiendo:

$$\bar{h} = h_o = 1400$$

$$t_w = t_a + (h_o / (h_{i_o} + h_o)) (\bar{T}_v - T_a)$$

$$t_w = 64.68 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ . temperatura de la pared}$$

$$t_f = (T_v + t_w) / 2 = 79.78 \text{ } ^\circ\text{C, temp. película}$$

$$K_f = 0.14 \text{ BTU} / (\text{h} \cdot \text{ft}^2 \cdot (^\circ\text{F}/\text{ft})),$$

conductividad térmica película

$$g_f = 0.81 \text{ , a } T_f = 78.69 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\mu_f = 0.50 \text{ cp.}$$

De la figura 12.9 del kern.:

$$h = h_o = 900 \text{ BTU} / (\text{h} \cdot \text{ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}) = 1356.25$$

kcal/h.m² °C

$$T_v = 90 \text{ } ^\circ\text{C} = 654 \text{ } ^\circ\text{R}$$

$$\mu_v = 0.0419 \text{ kg/m} \cdot \text{h}$$

$$D_e = 0.73 \text{ in.} = 0.0185 \text{ m. , figura 28}$$

$$NRe_s = D_e \cdot G_s / \mu_v = 2793 \text{ , figura 29}$$

$$f = 0.0027 \text{ ft}^2 / \text{in}^2$$

$$N+1 = 3 \text{ , } N; \# \text{deflectores}$$

$$N + 1 = L_f / B, B = 0.406 \text{ m.}$$

$$\bar{M} = 27.156$$

$$\rho = 27.156 / (359 \times (654/492) \times (14.7/29.7))$$

$$\rho = 0.1149 \text{ lb/ft}^3.$$

$$D_s = 15.25 / 12 = 1.27 \text{ ft.}$$

$$\Delta P_s = \frac{1}{2} (f \cdot G^2 \cdot s \cdot D_s \cdot (N+1)) / (5.22 \times 10^{10} \cdot D_e \cdot g)$$

$$\Delta P_s = 2.071 \text{ kg/m}^2$$

Para:

$$NRe_t = D \cdot G_t / \mu = 4856.7, \text{ flujo laminar}$$

$$f = 0.00033 \text{ ft}^2/\text{in}^2.$$

$$\Delta P_t = f \cdot G_t \cdot L_t \cdot n / (5.29 \times 10^{10} \cdot D_s \phi_t)$$

$$\Delta P_t = 1.19 \text{ lb/in}^2.$$

$$\Delta P_r = (4 \cdot n/s) \cdot (v^2/2g)$$

$$\Delta P_r = 1.55 \text{ lb/in}^2$$

$$\Delta P_T = \Delta P_t + \Delta P_r = 1.19 + 1.55 = 2.75 \text{ lb/in}^2.$$

CALCULO DEL COEFICIENTE TOTAL LIMPIO

$$U_c = h_{io} \cdot h_o / (h_{io} + h_o) = 1356.25 \times 660 / (660 + 1356.25)$$

$$U_c = 443.95 \text{ Kcal/h.m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

CALCULO DEL FACTOR DE OBSTRUCCION

$$R_d = (U_c - U_D) / (U_c \cdot U_D), U_D = 247.22$$

$$R_d = 0.00179 \text{ h. m}^2 \cdot ^\circ\text{C/kcal}.$$

RESUMEN DEL DISEÑO:

$$A_c = 17.23 \text{ m}^2.$$

$$L_t = 2.44 \text{ m}.$$

$$DI = 0.387$$

$$DE = 0.01905 \text{ m}, 16 \text{ BWG, arreglo triangular de } 1''$$

$$N_t = 118 \text{ tubos}.$$

$$n = 6 \text{ pasos}.$$

$$B = 0.406 \text{ m}.$$

$$N = 5 \text{ deflectores}$$

$$U_D = 247.22 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$$

$$U_c = 443.95 \text{ kcal/h. m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$R_d = 0.00179 \text{ h. m}^2 \cdot ^\circ\text{C/kcal}$$

$$\Delta P_t = 1.19 \text{ psig}.$$

$$\Delta PT = 2.75 \text{ psig.}$$

$$h_{io} = 660 \text{ kcal/h} \cdot \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$h_o = 1356.25 \text{ kcal/h} \cdot \text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

7.6.10 DISEÑO DE LA BOMBA CENTRIFUGA PARA EL TRASVASE DEL FERMENTADOR AL DESTILADOR (B₄)

$$m_{\text{fermento}} = 1497.25 \text{ kg.}$$

$$V_{\text{fermento}} = 1480.96 \text{ l.}$$

Asumiendo un tiempo de descarga de 7 minutos.

$$P_{B4} = 1497.25 \times 9.81 \times 2.5 \times 0.013123 / 420$$

$$P_{B4} = 1.147 \text{ HP, eficiencia de 75\%}$$

$$P_{B4} = 1.53 \text{ HP, real}$$

$$P_{B4} = 1 \frac{3}{4} \text{ HP, comercial.}$$

7.6.11 DISEÑO DEL TANQUE RECEPTOR DE ALCOHOL (TK_A)

Se tiene : 481.286 kg. de alcohol al 32.8%, con una densidad de 0.9456 kg/l.

$$V_{\text{alcohol}} = 481.284 / 0.9456 = 508.97 \text{ litros.}$$

$$V_{TK} = 2 V_{\text{alcohol}} = 2 \times 508.97 = 1017.94 \text{ l.}$$

$$D = 0.75 H$$

$$V_{TK} = (0.75 H)^2 \cdot H \cdot \pi/4 = 1017.94$$

$$H = 1.32 \text{ m.}$$

$$D = 0.99 \text{ m.}$$

7.6.12 DISEÑO DEL TANQUE DE AGUA DE ENFRIAMIENTO
(Tk_H)

Requerimiento de agua por turno de 8 horas:

1° Enfriamiento del pasteurizador = 7661.5 kg.

2° Lavado de los frutos de naranja= 6000 kg.

3° Condensador del destilador = 16611.9Kg.

Como la temperatura de salida del agua de enfriamiento es 32.5 °C, esta agua puede ser aprovechada para el lavado de los frutos de la naranja.

Agua total utilizada = 24,273.77 kg.

Agua de reposición = 6000 kg/turno.

D = 0.75 H

$1.25 \times 24273 = \pi/4 \cdot (0.75 H)^2 \cdot H$

H = 4.09 m.

D = 3.07 m.

El tanque de almacenamiento es de CONCRETO ARMADO.

7.6.13 DISEÑO DE LA BOMBA CENTRIFUGA PARA EL AGUA DE ENFRIAMIENTO DEL CONDENSADOR (B₅)

Caudal de agua: 16611.9 kg., para un tiempo de descarga de 1.94 horas.

mH₂O = 8562.84 kg/h.

H condensador = 3 m.

ΔPT = 2.75 psig. = 1937.5 kgf/m².

$$PB5 = \Delta PT. q_{H2O} + m_{H2O} \cdot 9.81 \times 3 \\ \times 0.013123$$

$$PB5 = 0.9786 \text{ HP, eficiencia del} \\ 75\%$$

$$PB5 = 1.304 \text{ HP, real}$$

$$PB5 = 1 \frac{1}{2} \text{ HP, comercial.}$$

7.6.14 DISEÑO DEL FERMENTADOR ADIABATICO (FA)

$$m_{fermento} = 1497.25 \text{ kg.}$$

$$V_{jugo} = 1399.8 \text{ l/día}$$

$$W_{jugo} = 1429.19 \text{ kg.}$$

$$\rho_{jugo} = 1.021 \text{ kg/l.}$$

Adición de azúcar: 0.156 kg. por litro de jugo.

$$W_{azúcar} = 218.36 \text{ Kg.}$$

$$W_{total} = 1647.55 \text{ kg.}$$

ρ Grado Brix

$$\text{corregido} = 1.062 \text{ kg/l.}$$

$$V_{total} = 1551.37 \text{ l.}$$

Tiempo de residencia del fermento es de 11 días.

$$D = H$$

$$V_T = 1.3 V_o$$

$$D = 1.35 \text{ m.}$$

$$H = 1.35 \text{ m.}$$

$$V = 1940 \text{ l.}$$

MATERIAL : acero inoxidable AISI 316

CANTIDAD : 10 (Diez) unidades.

7.6.15 DISEÑO DEL CALDERO (Ca)

Cantidad total de vapor requerido:

PASTEURIZADOR = 142.25 kg.

DESTILACION = 743.25 kg.

m_v = 885.50 kg.

$Q_{pasteuriz}$ = 76519.13/2 kca/h

= 38259.6 kcal/h.

$Q_{destila}$ = 207378.84/1.94 kcal/h=

106896.3 kcal/h.

Q_T = 145,155.91 kcal/h.

Asumiendo una eficiencia del 75% y un factor de seguridad de 20%:

P_c = 26.69 HP, 1 HP = 8437 kcal/h.

P_c = 44.48 HP, real.

P_c = 45 HP, comercial.

7.6.16 DISEÑO DEL EXTRACTOR POR ARRASTRE DE VAPOR (Ev)

$m_{cáscara}$ = 546.6 kg.

Considerando que la cáscara tiene 1% de esencia.

$m_{esencia}$ = 5.466 kg.

$\rho_{aparente}$ = 0.8 kg/l , de la cáscara.

$V_{cáscara}$ = 546.6/0.8 = 683.25 l. = V_c .

$$V_{\text{extract}} = 1.4 V_c = 956. \text{ l.}$$

$$m_v = 10 \text{ esencia} = 54.66 \text{ kg.}$$

$$Q_v = H_v \cdot m_v + m_v \cdot C_p \cdot \Delta T$$

$$Q_v = 524.07 \times 54.66 + 54.66 \times 1.0013 \times 101.1$$

$$Q_v = 34,179.52 \text{ kcal.}$$

Considerando una extracción de 2 horas:

$$Q'_v = 17,089.76 \text{ kcal/h.}$$

$$m_{H_2O} \text{ enfrim} = 3,422.4 \text{ kg.}$$

$$V_{\text{separador}} = 1.5 (V_{\text{vapor}} + V_{\text{esencia}})$$

$$V_{\text{separador}} = 90.189 \text{ litros.}$$

7.6.17 DISEÑO DEL SECADOR PARA HARINA Y PECTINA (S)

Considerando que el mayor tiempo de trabajo es para la molienda de la harina:

$$\text{BAGAZO} = 0.3299 \times 3000 = 989.7 \text{ kg.}$$

$$\text{HUMEDAD} = 85\%$$

$$\text{HUMEDAD FINAL HARINA} = 3\%$$

$$m_{H_2O} \text{ evaporad} = 0.82 \times 989.7 = 811.55 \text{ kg.}$$

CALCULO DE LA ENERGIA NECESARIA

$$Q_T = m_{H_2O} \cdot c_{pH_2O} \cdot \Delta T + m_{H_2O} \cdot \Delta H_{VH_2O} + m_a \cdot C_{pa} \cdot T_2$$

$$\Delta H_{VH_2O} = 537.93 \text{ kcal/kg.}$$

$$\Delta T = (100 - 25) = 75 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$Q_T = 841.25 \times 0.9987 \times 75 + 811.55 \times 537.93 + 148.455 \times 0.35 \times 75$$

$$Q_T = 503,465.76 \text{ kcal.}$$

Cantidad de vapor a 250 °R, y 29,81 psig.

ΔH_v = 524.07 kcal/kg; m_v = 960.68 kg.

Considerando un tiempo de secado de 8 horas:

Q'_T = 62,933.22 kcal/h.

7.6.18 DISEÑO DEL MOLINO MICROPULVERIZADOR PARA HARINA Y PECTINA (M)

MATERIAL : ACERO INOXIDABLE AISI 304

TIPO : MARTILLO

POTENCIA MOTOR : 4 HP

VELOCIDAD : 3,600 RPM

7.6.19 DISEÑO DE LA TAMIZADORA VIBRATORIA (T_v)

MATERIAL : ACERO INOXIDABLE AISI 304

TAMAÑO MALLA : MALLA 200

AREA DEL TAMIZ : 1.00 M²

POTENCIA MOTOR : ½ HP.

7.6.20 DISEÑO DEL REACTOR PARA PECTINA (R_p)

TIEMPO RESIDENCIA : 3 días

UNIDADES : 03

MATERIAL : ACERO INOXIDABLE AISI
316

D : 0.98 m.

H : 1.31 m.

V : 1000 l.

7.6.21 DISEÑO DEL TANQUE PARA PETROLEO (Tkp)

Tipo de petróleo : DIESEL N° 5

Poder calorífico de 10,345 kcal/kg.

Calor total : 145,156 kcal/h

Pérdida de energía del 30%

$$V_t = (145,156 \text{ kcal/h} / 10345 \text{ kcal/kg}) \times 1.30 / 0.943 \text{ kg/l.}$$

$$V_t = 19.34 \text{ l/h}$$

Stock de 25 días de producción

$$V_T = 3868 \text{ l.}$$

Dimensiones:

$$D = 0.75 H ; D = 1.56 \text{ m.}$$

$$H = 2.08 \text{ m.}$$

VIII. EVALUACION ECONOMICA DEL PROYECTO

INDUSTRIAL

8.1 RESUMEN

8.1.1 ACTIVIDAD ECONOMICA

La empresa se dedicará a la elaboración del alcohol de la naranja (*citrus sinensis*), y como subproductos: aceite esencial, pectina cítrica y harina de bagazo.

8.1.2 REGIMEN LABORAL

Operará bajo el siguiente régimen laboral:

TURNO : 8 horas.

DIARIO : 1 turno.

MENSUAL : 25 días.

ANUAL : 12 meses.

8.1.3 TIEMPO DE IMPLEMENTACION DE LA PLANTA

El tiempo estimado será de 8 (ocho) meses.

8.1.4 TASA INTERNA DE RETORNO DE LA INVERSION

TIR = 29.224% ANUAL EN US \$

8.1.5 UTILIDAD NETA ACUMULADA AL FINAL DE LOS 10 AÑOS

UTILIDAD = US \$ 2'404,905

8.1.6 VALOR ACTUAL NETO

VAN = US \$ 358,257, Valor actual neto del Proyecto al cabo de 10 años.

8.1.7 VALOR DE RESCATE DE LA PLANTA AL FINAL DE LOS 10 AÑOS

VR = US \$ 216,867

8.1.8 CAPACIDAD DE PROCESAMIENTO DE LA PLANTA

MATERIA PRIMA	% PESO	C O N S U M O	
		DIARIO	MENSUAL
FRUTO DE NARANJO	100.00	3.061 Tn.	76.525 Tn.
JUGO DE NARANJA	47.64	1.4583 Tn.	36.4565 Tn.

Densidad del jugo: 1.021 g./ml.

8. 1. 9

CAPACIDAD DE PRODUCCION DE PLANTA
Y PRECIOS UNITARIOS DE
COMERCIALIZACION

DESCRIPCION	DESCRIPCION / PRESENTACION			
	ALCOHOL-32.8% (fco./1 gln.)	ACEITE ESNC. (fco./1 l.)	PECTINA CITR. (bols/kg)	HARINA (saco/25 kg.)
DIA - TURNO	476.05 l.	6.0 l.	27.33 kg.	148.45 kg.
MES	11,901.34 l.	150.0 l.	683.25 kg.	3,711.25 kg.
AÑO	142.82 m ³ .	1.8 m ³ .	8.20 tn.	44.54 tn.
UNIDADES/MES	3,144 fcs.	150 fcs.	683 bols.	148 scs.
PRECIO (US\$/PRESENT)	16.53/fco.	65.0 /fco.	19.165/bols.	29.162/sco.

8.1.10 PRECIOS EN EL MERCADO NACIONAL DE LA NARANJA

VARIEDAD : VALENCIA.

PROCEDENCIA : CHANCHAMAYO - PROVINCIA DE LA
MERCED JUNIN.

PRECIO UNIT : 0.05 US \$/kg.

COMPOSICION : 47.64% PESO ES JUGO.

8.1.11 INVERSION TOTAL DE CAPITAL

INVERSION DE CAPITAL FIJO = US \$ 399,280

CAPITAL DE TRABAJO = 53,724

INVERSION TOTAL US \$ 453,004

=====

8.1.12 LOCALIZACION DE LA PLANTA INDUSTRIAL

UBICACION : CHANCHAMAYO - LA MERCED
(JUNIN)

JUSTIFICACION:

1° Reducción de los costos de
producción, por el bajo
costo en el transporte.

2° La Selva nos ofrece una
gran producción, en este
tipo de variedad durante
todo el año, siendo el mes
de más baja producción el
de agosto.

3° Descentralización de la industria en el País, y los incentivos económicos existentes para el desarrollo industrial de la Selva.

4° Permite el desarrollo socioeconómico y la descentralización de la economía, generando empleo en la Región.

8.1.13 TIEMPO DE RETORNO DE LA INVERSION

La inversión total de capital se recupera en 11 (ONCE) MESES, después del primer mes de venta de los productos.

8.2 CRONOGRAMA DE IMPLEMENTACION DE LA PLANTA INDUSTRIAL

TIEMPO DE MESES	DESCRIPCION
5	ADQUISICION, DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UNIDADES Y EQUIPOS DE PROCESO E IMPLEMENTACION DE LA PLANTA.
2	INSTALACION Y ACONDICIONAMIENTO DE PLANTA.
1	ARRANQUE DE PLANTA, PRUEBAS PRELIMINARES Y AJUSTE DE PARAMETROS DE PROCESO.
8	TIEMPO TOTAL DE IMPLEMENTACION

B. 3 INVERSIONES DE CAPITAL

RUBRO DE INVERSION	US \$	US \$	US \$
I. INVERSION DE CAPITAL FIJO			399,280
A. COSTOS DIRECTOS			
EQUIPOS DE LABORATORIO	100%	28,100	
EQUIPOS DE PLANTA	20%	180,250	
INSTALACIONES DE PLANTA	5%	36,050	
TUBERIAS Y ACCESORIOS	15%	9,010	
INSTRUMENTACION	10%	27,040	
INSTALACIONES ELECTRICAS	4%	18,030	
AISLAMIENTOS		7,210	
OBRAS CIVILES		25,000	
TERRENO		15,000	
IMPREVISTOS	10%	34,570	
B. COSTOS INDIRECTOS			
TECNOLOGIA INDUSTRIAL		9,510	
DISEÑO INGENIERIA Y SUPERVISION		9,510	
II. CAPITAL DE TRABAJO			53,724
INVERSION TOTAL DE CAPITAL		19,020	453,004

8.3.1 INVERSIONES DE CAPITAL FIJO

8.3.1.1 EQUIPOS DE LABORATORIO

D E S C R I P C I O N	VALOR (US\$)
1. AUTOCLAVE FERMENTADOR	4,100
2. BALANZA ANALITICA	5,800
3. BOMBA DE VACIO	980
4. CENTRIFUGA	1,250
5. ESPECTROFOTOMETRO	4,420
6. ESTUFA DE VACIO	630
7. EQUIPOS DE VIDRIO	4,850
8. INCUBADORA	1,020
9. MICROSCOPIO	960
10. PH - METRO	1,140
11. REFRIGERADORA	450
12. REACTIVOS Y MATERIALES	2,500
TOTAL EQUIPOS DE LABORATORIO	28,100

8.3.1 INVERSIONES DE CAPITAL FIJO
(Continuación)

8.3.1.2 EQUIPOS DE PLANTA

EQUIPOS Y ESPECIFICACIONES	CODIGO	VALOR (US \$)
1. BOMBA CENTRIFUGA LAVADO $q_{H2O} = 6000 \text{ l/h}$ $P_{salida} = 70 \text{ psig.}$ $P_{OBL} = 1.5 \text{ HP}$ MATERIAL : Fierro fundido	(BL)	250
2. PRENSA DE EXPRIMIDO Capacidad : 375 kg/h $P_{prensado} = 127.8 \text{ kg/cm}^2.$ Material : Acero inoxid. AISI 316	(PE)	3,500
3. BOMBA CENTR. PARA EL JUGO $q_{jugo} = 3.4028 \text{ kg/s}$ $P_{descarga} = 50 \text{ psig.}$ $P_{OB1} = 1.5 \text{ HP}$ Material = acero inoxid. AISI 304	(B1)	800
4. PASTEURIZADOR CON AGITADOR $D = 1.35 \text{ m.}$ $H = 1.35 \text{ m.}$ $V = 1940 \text{ l.}$ Material : acero inoxid. AISI 316	(Pz)	8,800
5. BOMBA CENTRIF. DEL PASTEURIZAD. $q_{jugo} = 3.923 \text{ kg/s.}$ $P_{descarga} = 3.56 \text{ psig.}$ $P_{OB2} = 2 \text{ HP}$ Material : acero inoxid. AISI 304	(B2)	1,150
	VAN	14,500

8.3.1.2 EQUIPOS DE PLANTA
(Continuación)

EQUIPOS Y ESPECIFICACIONES	CODIGO	VALOR (US \$)
6. TANQUE CULTIVO	VIENEN (Tkc)	14,500 2,300
D = 0.59 m.		
H = 0.59 m.		
V = 110 l.		
Material : acero inox AISI 316		
7. BOMBA CENTRIF. GRADO BRIX CORREG.	(B3)	400
q _{JBC} = 0.655 kg/s.		
P _{descarga} = 3.56 psig.		
PoB3 = 1/3 HP.		
Material : acero inoxidable. AISI 304		
8. CALDERIN DEL DESTILADOR	(Cd)	11,500
A _T = 5.757 m ²		
D = 1.41 m.		
H = 1.41 m.		
V = 2,221 L.		
q _v = 248 kg/h. (agua + alcohol)		
Material = acero inoxidable. AISI 316		
9. CONDENSADOR HORIZONTAL	(Co)	8,600
m _v = 248 kg/h.		
Ac. = 17.23 m ²		
q _{H2O} = 8,563 kg. agua/h		
Material = acero inoxidable. AISI 316		
10. BOMBA CENTRIF. PARA EL TRASVASE DEL FERMENTADOR AL DESTIL.	(B4)	1,050
q _{fermento} = 3.56 kg/s		
P _{descarga} = 3.56 psig.		
PoB4 = 1 3/4 HP		
Material = acero inoxidable. AISI 304		
	VAN	38,350

8.3.1.2 EQUIPOS DE PLANTA
(Continuación)

EQUIPOS Y ESPECIFICACIONES	CODIGO	VALOR (US \$)
11. TANQUE RECEPTOR DE ALCOHOL	VIENEN (TkA)	38,350 3,600
D = 0.99 m.		
H = 1.32 m.		
V = 1,0181 l.		
Material : acero inoxidable. AISI 316		
12. FERMENTADOR ADIABATICO	(FA)	51,400
D = 1.35 m.		
H = 1.35 m.		
V = 1940 l.		
UNIDADES : 10 (diez)		
MATERIAL : acero inoxidable. AISI 316		
13. TANQUE DE AGUA ENFRIAMIENTO	(TkH)	6,300
D = 3.07 m.		
H = 4.09 m.		
V = 6459 gal. (24450cc)		
Material = concreto armado		
14. BOMBA CENTRIF. AGUA ENFRIAM. DEL CONDENSADOR	(B5)	950
qH ₂ O = 2.37 kg/s.		
Pdescarga = 7.02 psig.		
P _{0B5} = 1½ HP		
Material : acero inoxidable. AISI 304		
15. CALDERO	(Ca)	20,600
Q _T = 145,156 Kcal		
P ₀ = 45 HP		
16. EXTRACTOR POR ARRASTRE VAPOR	(Ev)	8,500
V = 956 l.		
Material : acero inoxidable. AISI 316		
17. MOLINO MICROPULVERIZADOR	(M)	5,800
Capacidad = 176 kg/h.		
P ₀ = 4 HP.		
RPM = 3,600		
Material : acero inoxidable. AISI 304		
	VAN	135,500

8.3.1.2 EQUIPOS DE PLANTA
(Continuación)

EQUIPOS Y ESPECIFICACIONES	CODIGO	VALOR (US \$)
18. TAMIZADORA Y VIBRATORIA	VIENE (Tv)	135,500 750
Partícula = malla 200		
Po = ½ HP.		
19. SECADOR HARINA-PECTINA	(S)	2,500
Capacidad = 176 kg/turno		
Material : acero inoxidable. AISI 304		
20. REACTOR PARA PECTINA	(Rp)	6,000
Unidades = 3 (tres)		
D : 0.98 m.		
H : 1.31 m.		
V : 1000 l.		
Material : acero inoxidable. AISI 316		
21. TANQUE DE PETROLEO	(TKP)	3,300
D = 1.56 m.		
H = 2.08 m.		
V = 4000 l.		
22. ABLANDADOR	(A)	16,700
F _{H2O} = 750 l/h.		
23. DESIONIZADOR	(D)	6,470
F _{H2O} = 190 l/h.		
24. TANQUE AGUA DESIONIZADA	(TKAD)	8,300
D = 1.21 m.		
H = 1.61 m.		
V = 1840 l.		
Material : acero inoxidable. AISI 316		
25. BOMBA CENTRIF. PETROLEO	(B6)	180
Po = ½ HP		
Material : fierro fundido		
26. BOMBA CENTRIF. AGUA DESIONIZADA	(B7)	550
F _{H2O} = 250 l/h		
Po = ½ HP.		
Material : acero inoxidable. AISI 316		
INVERSION TOTAL EN EQUIPOS DE LABORATORIO		180,250

8.12 VALOR ACTUAL NETO (VAN)

Según ANEXO 24, $i = 6\%$ de interés PRIME RATE DE EE.UU. (FEB. 1993)

$$VAN = INVERSION\ TOTAL\ CAPITAL \times ((1 + i)^{10} - 1)$$

$$VAN = 453,004 ((1 + 0.06)^{10} - 1)$$

VAN = US \$ 358,257 , valor actual neto del proyecto al cabo de 10 años.

8.13 VALOR DE RESCATE DE LA PLANTA AL FINAL DE LOS 10 AÑOS (VR)

$$VALOR\ RESCATE = VALOR\ REVENTA + VALOR\ TERRENO + CAPITAL\ TRABAJO$$

$$VR = 148,143 + 15,000 + 53,724$$

$$VR = US \$ 216,867$$

8.14 UTILIDAD NETA ACUMULADA AL FINAL DEL PROYECTO

$$UTILIDAD = US \$ 2'404,905$$

8.15 TIEMPO DE RETORNO DE LA INVERSION

La inversión total de capital se recupera en el MES 11 (ONCE) después del primer mes de venta o en el MES 20 (VEINTE) de iniciado la implementación del proyecto.

8.16 TASA INTERNA DE RETORNO DE LA INVERSION (TIR)

$$TIR = i$$

$$\sum_{n=1}^{10} FNF \times (1 + i)^{(10-n)} = VALOR\ FUTURO - CAPITAL\ TRABAJO - VALOR\ REVENTA \dots (1)$$

$$\text{VALOR FUTURO} = \text{INVERSION CAPITAL FIJO} \times (1 + i)^{n=10} \dots \dots \dots (2)$$

Reemplazando la ecuación (2) en la ecuación (1):

$$\sum_{n=1}^{10} \text{FNF} \times (1 + i)^{(10-n)} = \text{INVERSION CAPITAL FIJO} (1+i)^{10} - \text{CAPITAL-VALOR TRABAJO REVENTA}$$

Donde:

F N F	AÑO n
- 474,960	1
210,676	2
445,597	3
314,205	4
315,562	5
316,778	6
317,876	7
318,864	8
319,752	9
320,555	10

Reemplazando la ecuación (2) en la ecuación (1):

$$\sum_{n=1}^{10} \text{FNF} \times (1 + i)^{(10-n)} = 399,280 (1+i)^{10} - 53,724 - 148,143$$

$$\text{TIR} = i = 29.224\% \text{ ANUAL EN U.S. \$ FIJO}$$

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El objetivo principal de la presente investigación fue la elaboración de alcohol para el consumo humano, de un alto valor comercial (tipo WHISKY). Para ello se hizo uso del jugo de naranja tipo VALENCIA. Sin embargo, esto no impide el que pueda procesarse cualquier otro tipo de naranja.

Es importante realizar un análisis microbiológico del jugo después de la pasteurización para garantizar de que no haya microorganismos extraños que puedan perjudicar la fermentación.

La producción de alcohol obtenido con la enzima utilizada, es alta y con una gran pureza.

El fermento puede ser comercializado como producto final, para ello se recomienda un trasiego cuidadoso o filtrarlo y luego clarificarlo.

Hay que resaltar el hecho de que el aprovechamiento de la naranja es total (es decir, no hay desperdicios o residuos), puesto que es posible obtener el aceite esencial, la pectina cítrica y harina como subproductos, obtenidos de la cáscara y bagazo.

Aunque la planta industrial está diseñada para la producción del alcohol del jugo de la naranja, ésta, también podría ser utilizada (con ligeras modificaciones) para la obtención del alcohol a partir de otras frutas, claro está que habría que estudiar y aplicar las variables y control del proceso en cada caso específico.

BIBLIOGRAFIA

1. ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS; 14 Th. ed. Sidney William, 1984, 1141 pp., Arlington, Virginia, EE.UU.
2. BRAVERMAN, JOSEPH B.; Citrus Products - Chemical Composition and Chemical Technology, Ed. Intersciencie, 1949, 424 pág, New York.
3. BREMOND, ERNEST; Técnicas Modernas de Vinificación y de conservación de los vinos, José Motxsó, 1966, 271 pág. Barcelona.
4. CADENAS, EDUARDO; Enzimas alostéricas, Ed. H. Blume 1978, 335 pág., Madrid.
5. CHUMPITAZ HUAMBACHANO, WALTER; Estudio experimental sobre la elaboracion del vino de piña, Tesis I.I.A - U.N.A., 1979, 175 pág., Lima.
6. FARFAN, M; Ensayo de fermentación de jugo de naranjas a nivel de laboratorio, Tesis I.I.A., 1979, Lima.
7. FONT DE MORA; El naranjo, su cultivo, explotación y comercio, 3a. ed. Espasa - Calpe, 1954, 487 pág, Madrid.
8. FOUST; ALAN S. et al; Operaciones Unitarias en Ingeniería Química, Ed. Mc. Graw Hill, 1979, EE.UU.
9. FRANCIOUS, RAFAEL; FOPEX, El cultivo de los cítricos en el Perú 1986, 109 Pág. Lima.

10. GRIFFIN; Micro - Organism and fermentation, 1948, 550 pág. London
11. HAEHN, H; Bioquímica de las fermentaciones, Ed. Aguila, 1966, España.
12. KERN D; Procesos de Transferencia de Calor, Ed. Mc. Graw& Hill, 1982 EE.UU.
13. LOPEZ SUAREZ, CARLOS ANDRES; Obtención del alcohol etílico a partir del fruto del algarrobo (PROSOPIS PALLIDA), Tesis I.I.A. - U.N.A., Lima.
14. MARTIN, DAVID; MAYER, PETER; RODWELL, VICTOR W.; Bioquímica de Harper, 10a ed., el Manual Moderno, 1986, México.
15. MC CABE & SMITH: Operaciones Básicas en Ingeniería Química, ed. Reverté, 1979, México.
16. MEDINA ESPINOZA, WENCESLAO TEDDY; Influencia del almacenamiento hipobárico natural (Puno) en la calidad de naranjas (citrus sinensis), variedad Washington Navel y Valencia, Tesis I.I.A. - U.N.A. 1990, 137 pág., Lima.
17. MENDOZA ABANTO, JORGE; Elaboración de una bebida alcohólica fermentada, a partir de durazno (PRUNUS PERSICA BATCH), utilizando la levadura Sacch, Cervisiae var. Ellipsoideus, tipo Montrachew, tesis I.I.A.-U.N.A., 1989, 121 pág., Lima.
18. NEGRE-FRANCOT; Manual Práctico de vinificación y conservación de vinos, 3a. ed. J. Moncego, 1980, 286 Pág. Barcelona.

19. PEDERSON, CARL SEVERIN; Microbiology of food fermentations, 2a. ed. Westport, 1979, 384 pág., EE.UU.
20. PERRY, J; Manual del Ingeniero Químico, 5a. ed. Mc. Graw & Hill, 1985, EE.UU.
21. PETERS, M. & TIMMERHAUSS, K. Diseño de Plantas y su Evaluación económica para Ingeniería Química, Ed. Mc. Graw & Hill, 1980, EE.UU.
22. REED, GERALD, Enzymes in food processing, 2nd. ed. Academic Press, 1975, 573 pág., New York.
23. RODRIGUEZ NUNEZ, JOSE; Almacenamiento de naranjas (variedad Washington Navel) en refrigeración atmósfera controlada, Tesis Mg. Scientae, Escuela Post Grado, Facultad de Tecnología de Alimentos, U.N.A., 1986, 142 pág., Lima.
24. SANCHEZ RAMIREZ, J.; Ensayo Experimental en la obtención de alcohol etílico de materias amiláceas: papa y maíz, Escuela Nacional de Agricultura, 1951, 62 pág. , Lima.
25. SALOMONS, G; Materials and Methods in fermentations, Academic Press, 1969, 311 pág. London.
26. SCHMIDT - HEBBEL, HERMANN; Las enzimas en los alimentos, su importancia en la química y la tecnología en los alimentos, Fundación Chile, 1982, 93 pág., Santiago.

27. SINCLAIR, WALTON B; The orange Biochemistry and Physiology , California, Univ. Division of Agricultural Sciencies, 1961, 475 Pág. EE.UU.
28. SINTES PROS, JORGE; Virtudes curativas de la naranja, el zumo de naranja, 2a. Ed. Sintes, 1982, 105 pág. Barcelona.
29. SMITH & VAN NESS; Termodinámica para Ingeniería Química, Ed. Mc. Graw & Hill, 1975, EE.UU.
30. TARMAWIECKY, RAFAEL; Proyecto de Industrialización de la naranja en Chanchamayo y Satipo, Banco Industrial del Perú, 1986, 57 pág. Lima.
31. TASAYCO TORRES, CARLOS; Elaboración de una bebida alcohólica fermentada a base de ciruela (SPONDIAS PURPURES L.), Tesis I.I.A. - U.N.A, 1985, 157 Pág., Lima.
32. TERLEIRA GARCIA, ENRIQUE; Utilización integral de la naranja dulce (citrus sinensis) para la elaboraicón de mermeladas y frutos en almibar, Tesis I.I.A. - U.N.A., 1988, 181 pág.,
33. TREYBALL, R.; Operaciones de transferencia de Masa, Ed. mc. Graw & Hill, 2a. ed., México, 1980.
34. VALLEJO, FRANCISCO; Alcoholes, su fabricación y usos, Ed. Hasa, 1945, 288 pág. Buenos Aires.
35. VEGAS CERNA, YURI, Elaboración de vino a partir de naranja (citrus sinensis Var, Valencia) sobremadura, tesis I.I.A. U.N.A., 1987 111 pág., Lima.

36. VOGT, ERNEST; El vino obtención, elaboración y análisis, Ed. Acribia, 1986, 294 pág. Zaragoza.
37. YANG. H; Fruits wuines requisitos for successfal fermentation, JOURNAL, Agricultural Food Chemestry, Vol. 1, NO 4, EE.UU.