

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA – ENERGÍA



INFORME DE EXPERIENCIA LABORAL PARA OBTENER EL
TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO MECÁNICO

“IMPLEMENTACIÓN DE UN SECADOR DE AIRE CALIENTE
PARA PRODUCCIÓN DE HARINA DE PESCADO CALIDAD
SUPER PRIME EN LA EMPRESA COPEINCA CHANCAY”

AUTOR: BACHILLER RODOLFO LUCIANO LEÓN GREGORICH

OCTUBRE – 2013

DEDICATORIA

A mi esposa, a mis padres
y a toda mi familia.

AGRADECIMIENTO

A Dios y mi Universidad por darme la oportunidad de ser Ingeniero Mecánico.

ÍNDICE DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. OBJETIVOS.....	3
2.1 Objetivo General	3
2.2 Objetivos específicos	3
3. ORGANIZACIÓN DE LA EMPRESA	4
4. ACTIVIDADES DESARROLLADAS POR LA EMPRESA	9
4.1 Clientes	9
4.2 Descripción de equipos	10
5. DESCRIPCIÓN DETALLADA DEL PROYECTO DE INGENIERÍA	17
5.1 Marco Teórico Referencial	17
5.1.1 Definiciones generales	18
5.1.2 Teoría.....	42
5.1.3 Normas Técnicas.....	51
5.2 Antecedentes y descripción del proyecto	53
5.3 Planteamiento y alcance del proyecto	58
5.4 Fases o etapas del proyecto	62
5.4.1 Determinación de la Capacidad de Evaporación del Secador	65
5.4.2 Definición de la capacidad de los componentes del secador.....	68
5.4.3 Definición de requerimientos de cargas y	

suministros	92
5.4.4 Flowsheet del Sistema.....	93
5.4.5 Layout de la Instalación	93
5.4.6 Instrumentación y Control.....	95
5.4.7 Detalles de la instalación y revisión de diseños	98
5.4.8 Montaje e instalación de equipos.....	100
5.4.9 Verificaciones y pruebas de operación sin carga	107
5.4.10 Regulaciones y verificaciones finales con carga	109
6. EVALUACIÓN TÉCNICO ECONÓMICA.....	111
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	117
7.1 Conclusiones.....	117
7.2 Recomendaciones.....	118
8. BIBLIOGRAFÍA	
9. APÉNDICE, ANEXOS Y PLANOS	
ANEXO 1 Propiedades del aire húmedo a presión atmosférica estándar, 101.325 kPa.	
ANEXO 2 Índice de Tablas.	
ANEXO 3 Índice de Figuras.	
ANEXO 4 Diagramas e Imágenes	

1. INTRODUCCIÓN

La implementación del secador convectivo por aire caliente, se inició a fines del año 2010 y se entregó para la producción de la primera temporada de pesca del 2011 a la empresa Corporación Pesquera Inca SAC (COPEINCA). El proyecto se desarrolló en su planta de Chancay, a 80 kilómetros al norte de Lima, como parte de la ampliación de la capacidad y conversión para producir harinas de calidad "prime" y "super prime" con secado indirecto. La harina de pescado es un insumo alimenticio para los sectores ganaderos, acuicultura y piscicultura.

En los últimos años, se han elevado los requerimientos nutricionales, desplazando las antiguas harinas secadas a fuego directo. Adicionalmente, con las últimas normativas ambientales, los productores de harina de pescado están obligados a reemplazar los antiguos equipos con emisiones al ambiente; por sistemas cerrados basados en recirculación y condensación de los vapores producidos. Estas mejoras exigidas en la calidad y el cumplimiento de las normas ambientales son determinantes para las conversiones a secado indirecto.

Los secadores indirectos usados en las plantas de harina de pescado pueden ser conductivos o convectivos. Los equipos conductivos tienen intercambio térmico por contacto con una superficie metálica calentada con vapor. Se producen harinas que cumplen las especificaciones pero presentan problemas en las etapas finales de secado, complicándose el

control con bajas humedades. Generalmente son usados en las etapas de presecado hasta el 20 por ciento de humedad. Por otro lado, los equipos convectivos se caracterizan por utilizar cilindros rotativos aleteados para mover la carga e incrementar la superficie de intercambio con el aire de secado. La evaporación de la humedad de la harina rodea las partículas en movimiento y las mantiene a bajas temperaturas, minimizando las reducciones de sus cualidades nutritivas y mejorando el control. Se utilizan generalmente en la última etapa de secado con humedades finales entre 7 a 10 por ciento.

El suministro del proveedor incluyó, además de los equipos de secado y sus controles, el desarrollo de la ingeniería requerida para la determinación de los requerimientos complementarios y el acondicionamiento de las partes del antiguo secado a fuego directo. El cliente por su parte suministró las obras civiles y eléctricas.

La rentabilidad de la implementación de un secador de aire caliente, para una vida útil de 10 años, se justifica con el incremento del precio debido a que se espera una mejor calidad. La inversión total estimada en 1.5 millones de dólares, tiene un período de retorno estimado en poco más de dos años y una tasa interna de retorno (TIR) de 45 por ciento.

Finalmente, se desarrolló también el sistema automático para el control de las variables de operación, incorporando al sistema la capacidad de adquisición de los datos del proceso para análisis histórico y de calidad.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

Implementar un secador para la última etapa de secado de harina de pescado de calidad "super prime".

2.2 Objetivos específicos

- Reducir las variaciones de humedad en el secado final respecto del secado indirecto a vapor con equipos conductivos.
- Reducir las emisiones de vahos contaminantes producto de la evaporación del contenido de humedad de la harina de pescado.
- Instalar un sistema de control que permita recopilar información para la evaluación de datos históricos y mejorar la calidad de producción de harina de pescado.
- Obtener un producto de alta calidad con mayores precios de mercado.

3. ORGANIZACIÓN DE LA EMPRESA

Los trabajos realizados durante la experiencia profesional indicada en el presente informe fueron realizados en la siguiente empresa:

ENERMIN PERÚ S.A.

Dirección : Av. Los Ingenieros 255 – Urb. Industrial La Merced – Ate

Teléfono : 3496713

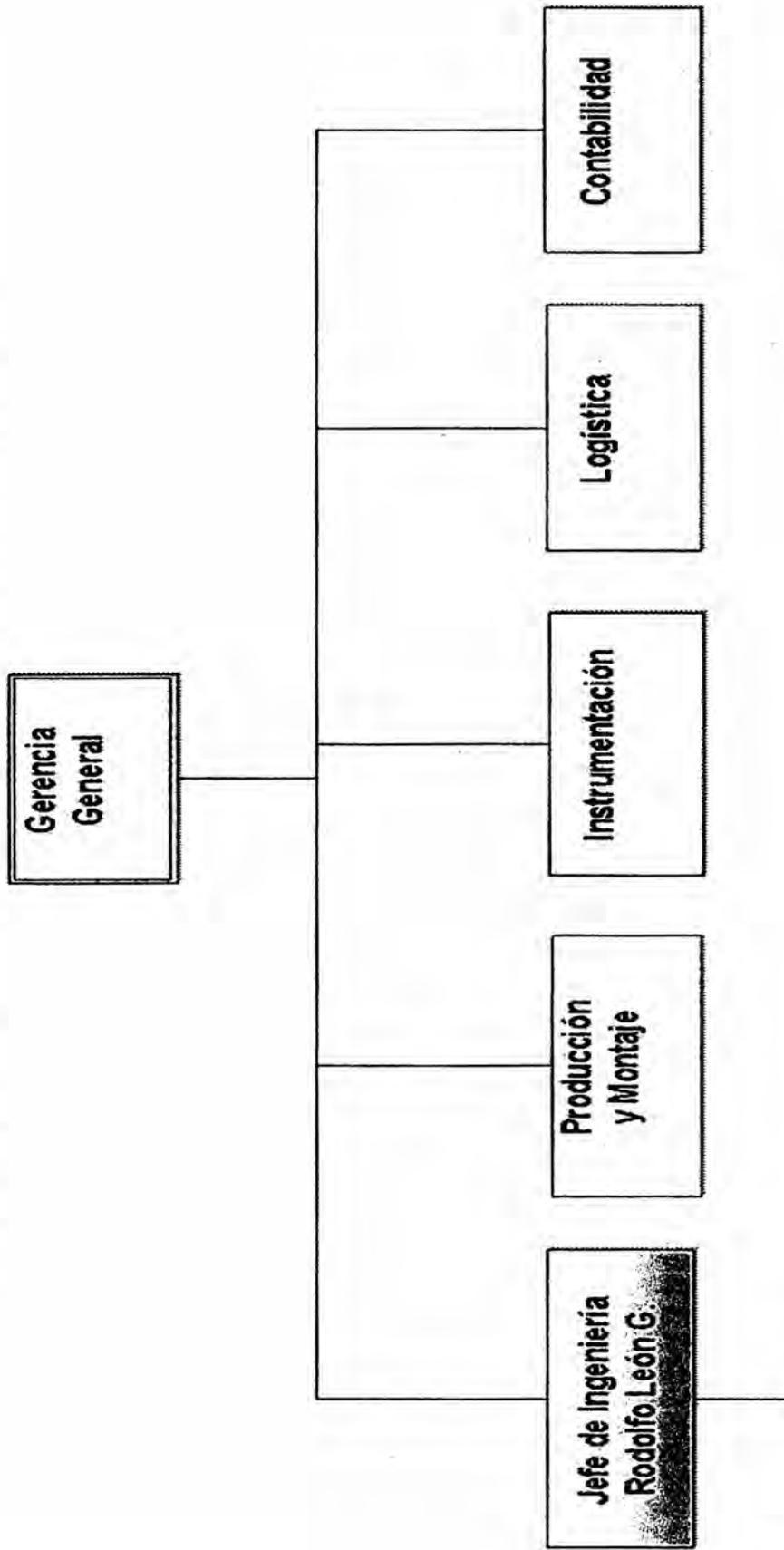
Trabajadores : 17 (2012-12)

Dedicada a la venta, fabricación, instalación y montaje de maquinarias y equipos, para aplicaciones en la industria productora de harina de pescado, principalmente en procesos de combustión y secado, con el soporte de ingeniería de su representada *ENERCOM*[®].

ENERCOM[®], es una empresa chilena fundada en 1987, especialista en las áreas de procesos térmicos, combustión y secado. Desarrolla proyectos con ingeniería conceptual, básica y de detalle. Provee equipos para la industria pesquera, minera y alimenticia. En el Perú principalmente tiene una importante presencia en la industria de la harina de pescado.

Diagrama organizacional. En la FIGURA 1, se muestra el diagrama organizacional de la empresa ENERMIN PERÚ S.A., indicando la ubicación del cargo de Jefe de Ingeniería ocupado por el autor durante la experiencia laboral. Reportaba a la gerencia general y coordinaba con las áreas de producción, instrumentación, logística y contabilidad.

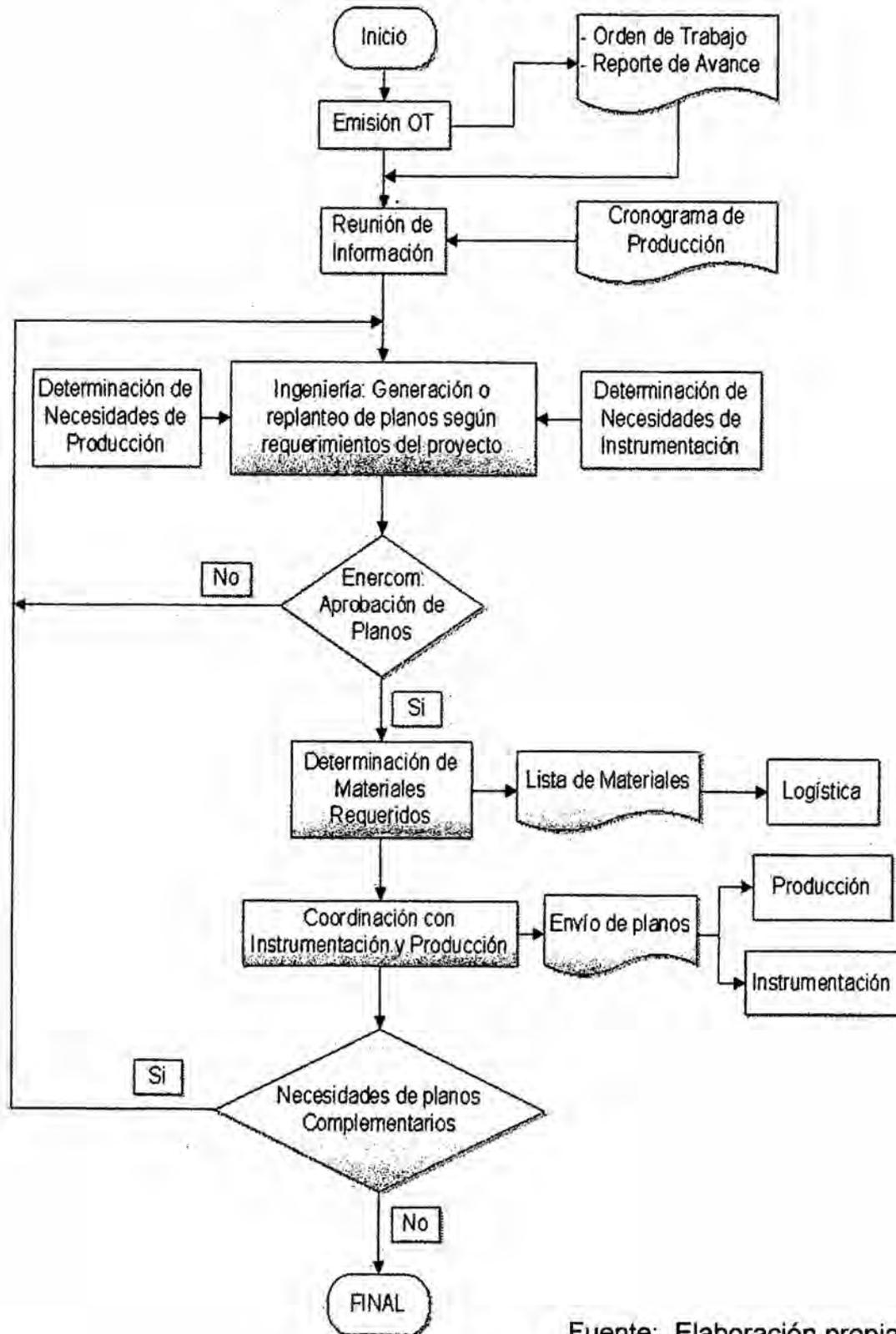
FIGURA 1. DIAGRAMA ORGANIZACIONAL DE ENERMIN PERÚ S.A.



- Dibujantes CAD
- Asistente de Ingeniería

Fuente: Elaboración propia.

FIGURA 2. DIAGRAMA DE FLUJO DE FUNCIONES DEL DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA



Fuente: Elaboración propia

Diagrama de flujo de funciones. En la FIGURA 2, se muestra el diagrama de flujo de las funciones desarrolladas por el área de ingeniería.

Confirmada la venta de un equipo o sistema, en una reunión de coordinación, la gerencia comunicaba la emisión de la orden de trabajo con la información de sus alcances, el reporte inicial de avance y el cronograma inicial de producción.

En el área de ingeniería se evaluaban las necesidades de planos, metrados de materiales, levantamientos de información de obra, generando los planos requeridos o revisando los existentes.

Los clientes adquirían equipos y maquinaria con diseño de ENERCOM, siendo por lo tanto necesario tener su aprobación y luego de la cual se enviaban a instrumentación y producción.

Las listas de pedidos de materiales, resultantes de los metrados, se enviaban a logística para el suministro correspondiente.

Dependiendo del suministro, en general también era necesario desarrollar, entre otras, las siguientes actividades:

- Planos de layout
- Diagramas de flujo de proceso.
- Planos de bases con indicaciones de cargas para los diseños de obras civiles.
- Diagramas de instrumentación y proceso (P&ID).

- Cuadros de cargas eléctricas y suministros.
- Diseños de accesos y plataformas.
- Diseños de sistemas de tuberías y ductos.
- Programación de controles automáticos.
- Mediciones y pruebas de operación.
- Manuales de operación.
- Capacitaciones y otras tareas complementarias de ingeniería.

4. ACTIVIDADES DESARROLLADAS POR LA EMPRESA

ENERMIN PERÚ S.A. contaba con oficinas administrativas, soporte técnico, almacén y un taller de metalmecánica para fabricaciones de componentes y equipos complementarios de tamaños limitados al área de trabajo disponible, que generalmente resultaba reducida comparada con los tamaños de los equipos finalmente entregados.

Con el fin de cumplir con las fabricaciones de mayor tamaño, se contrataba los servicios de empresas cuya infraestructura de talleres cumplía con los requerimientos de espacio.

Los equipos se suministraban con los sistemas de mando y control automático, según los alcances comprometidos y acordados con los clientes.

4.1 Clientes

Entre los principales clientes se encuentran las siguientes empresas productoras de harina y aceite de pescado:

- Austral Group S.A.A.
- CFG INVESTMENT S.A.C.
- China Fishing Group
- Corporación Pesquera Inca S.A.
- Pesquera Diamante S.A.

- Pesquera Hayduk S.A.
- Pesquera Polar S.A.
- Pesquera Exalmar S.A.A.
- Tecnológica de Alimentos S.A.

4.2 Descripción de equipos

Los equipos fabricados para la industria pesquera son:

- Cocedores de pescado.
- Secadores rotadiscos.
- Secadores rotatubos.
- Generadores de gases calientes.
- Secadores convectivos.
- Plantas evaporadoras de agua de cola.
- Equipos para tratamiento de gases.
- Enfriadores estáticos de harina.

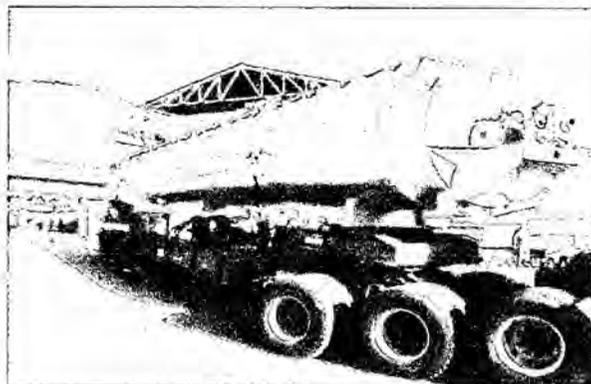


FIGURA 3. COCEDOR 50 TM/H FABRICADO EN ENERCOM
Fuente: ENERCOM

Cocedores de Pescado. Construidos en acero al carbono de calidad estructural, de cuerpo cilíndrico y tornillo central para el avance de la carga. Con calentamiento indirecto de vapor saturado a 7 bar, por la cubierta exterior y por el interior del tornillo.

Secadores Conductivos. En los secadores conductivos el calor entregado al producto fluye por conducción a través de una superficie metálica desde el medio de aporte de calor. Los secadores conductivos son de distintos tipos: rotatubos, rotadiscos y secadores de tornillo. Su elección depende de las necesidades del cliente y tipo de producto.

El diseño y fabricación de los equipos se realiza teniendo en consideración el uso previsto considerando el montaje, operación libre de fallas, eficiencia energética y facilidad de mantenimiento.

Secadores Rotatubos. Proveen grandes superficies de contacto, ideales para procesos de altas capacidades (harina de pescado, sales y nitratos).



FIGURA 4. SECADOR INSTALADO TIPO ROTATUBOS
Fuente: ENERMIN PERÚ S.A.

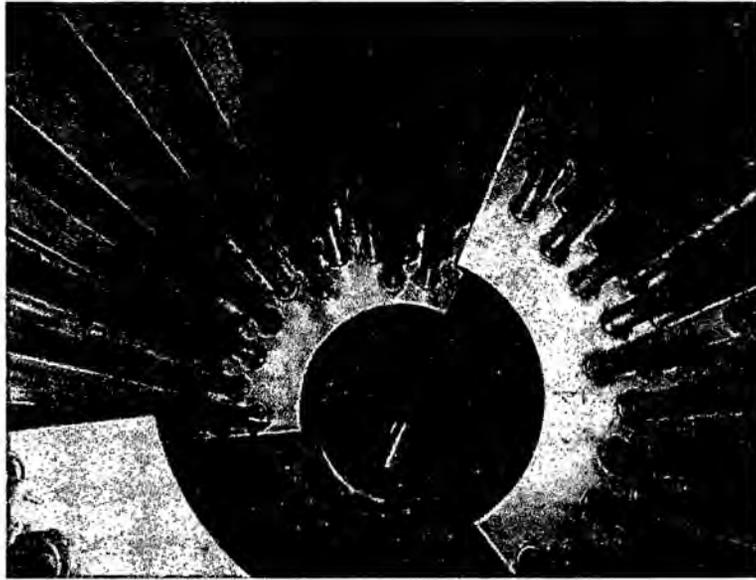


FIGURA 5. INTERIOR DE UN SECADOR TIPO ROTATUBOS
Fuente: ENERMIN PERÚ S.A.

Secadores Rotadiscos. Pueden manejar productos con elevada humedad, primer paso de secado de harina de pescado.



FIGURA 6. INTERIOR DE UN SECADOR TIPO ROTADISCOS
Fuente: ENERCOM.

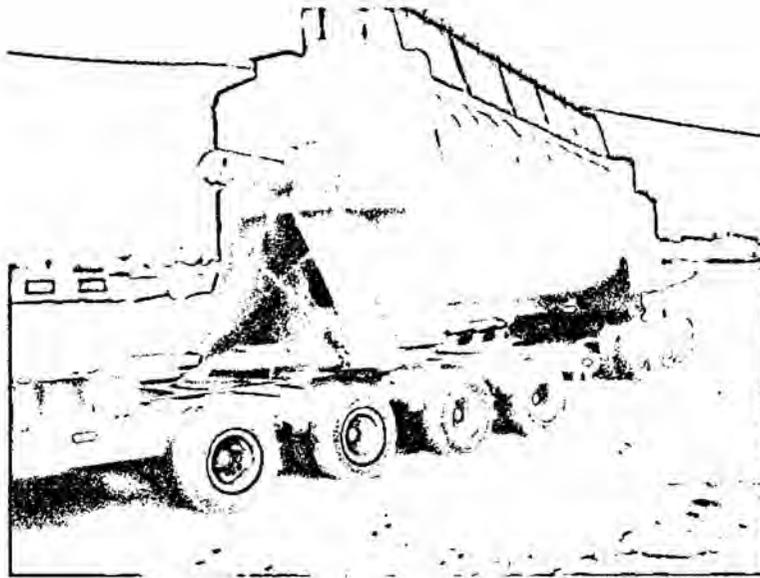


FIGURA 7. SECADOR ROTADISCOS FABRICADO EN PERÚ
Fuente: ENERMIN PERÚ S.A.

Generadores de gases calientes. Cámaras que utilizan los productos de la combustión para elevar la temperatura de los gases.

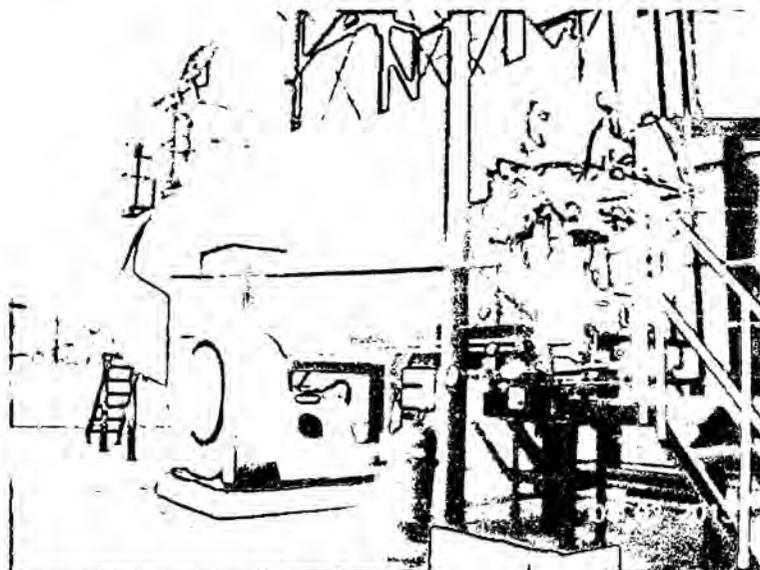


FIGURA 8. CÁMARA DE COMBUSTIÓN DE UN GENERADOR DE GASES CALIENTES
Fuente: ENERMIN PERÚ S.A.

Secadores Convectivos. Poseen una gran versatilidad, los secadores convectivos pueden manejar productos sólidos, desde polvos finos hasta fangos casi-líquidos, productos sensibles a altas temperaturas o con necesidad de gases de secado limpios.

Se producen dos grupos de secadores convectivos, aquellos que calientan el flujo de aire directamente con el calor de combustión (secadores a fuego directo) y aquellos que lo hacen a través de un intercambiador de calor (secadores convectivos indirectos). Los secadores convectivos indirectos utilizan intercambiadores de calor, con vapor, fluido térmico o gases calientes.

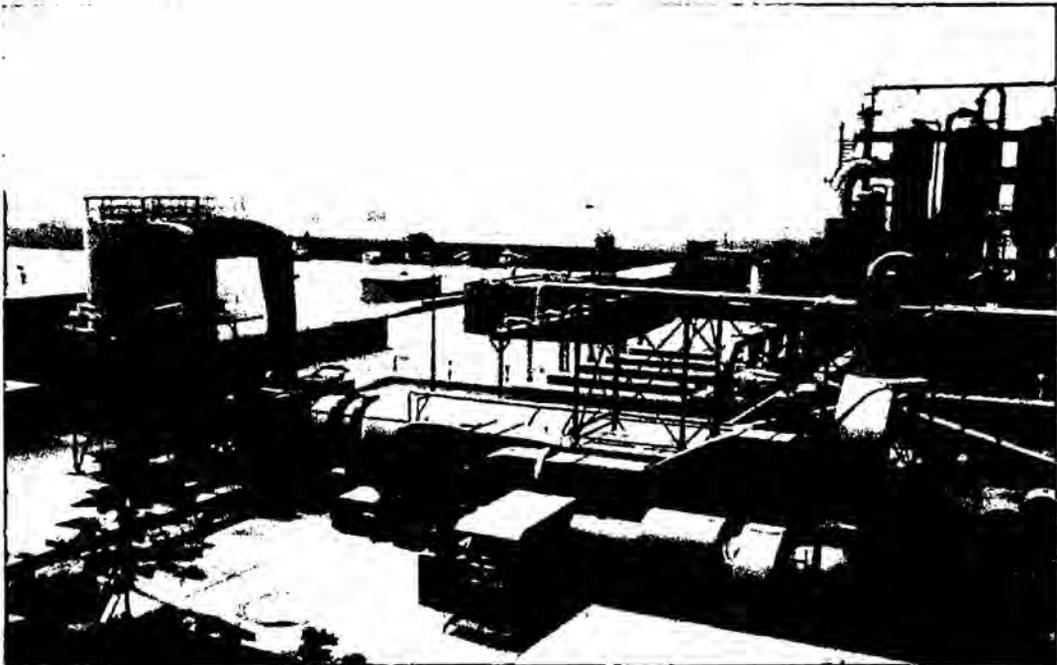


FIGURA 9. SECADOR CONVECTIVO POR AIRE CALIENTE
Fuente: ENERMIN PERÚ S.A.

Evaporadores de agua de cola. Evaporadores de múltiples efectos, del tipo película descendente

Diseñados para calentamiento con vahos procedentes de los secadores de harina.

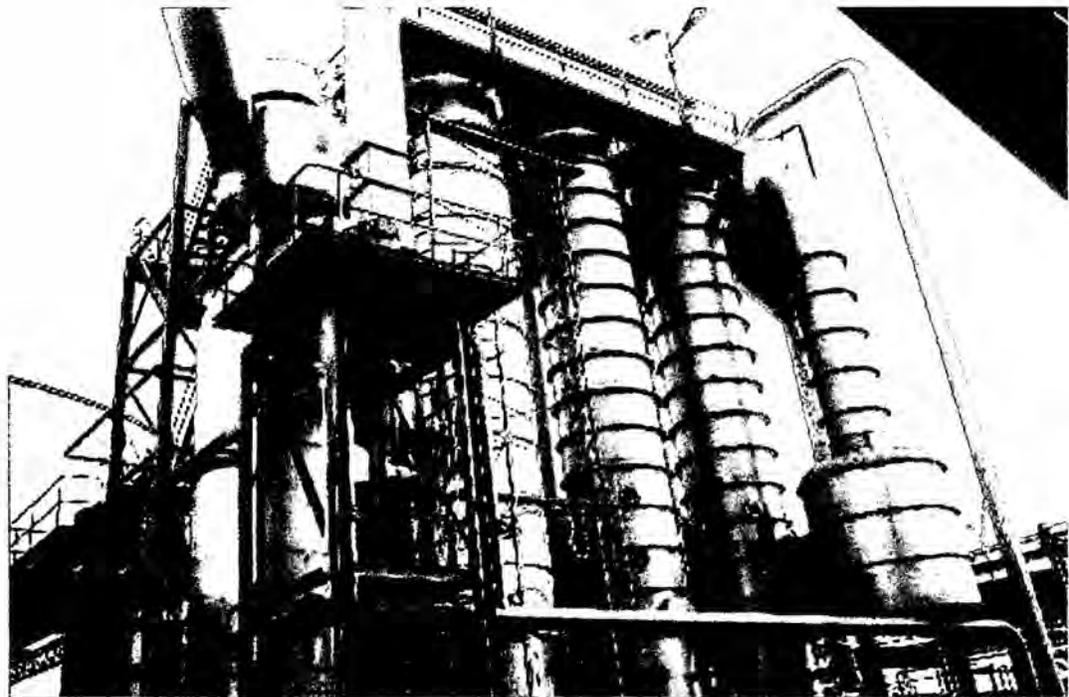


FIGURA 10. EVAPORADORES TIPO WHE DE AGUA DE COLA
Fuente: ENERMIN PERÚ S.A.

Tratamiento de gases. Diseñados para el manejo de los gases usados en los procesos térmicos y el cumplimiento de las normas medio ambientales.

Los equipos usados en estas aplicaciones son los filtros manga, ciclones y torres lavadoras.

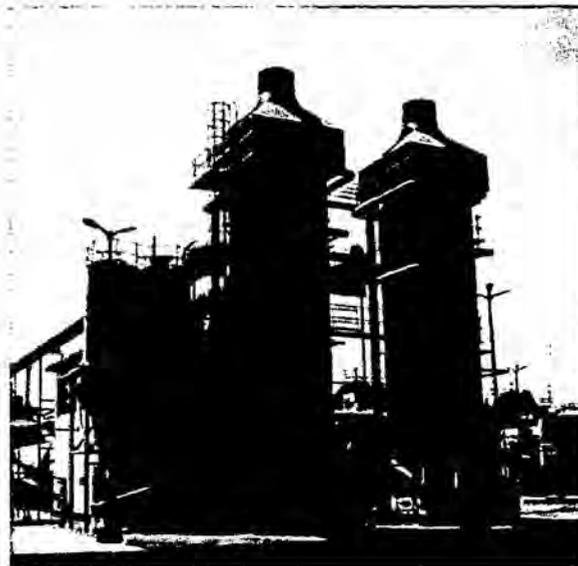


FIGURA 11. TORRES LAVADORAS DE GASES Y VAHOS
Fuente: ENERMIN PERÚ S.A.

Enfriadores estáticos. Utilizados para reducir la temperatura de salida de la harina luego de la última etapa de secado.



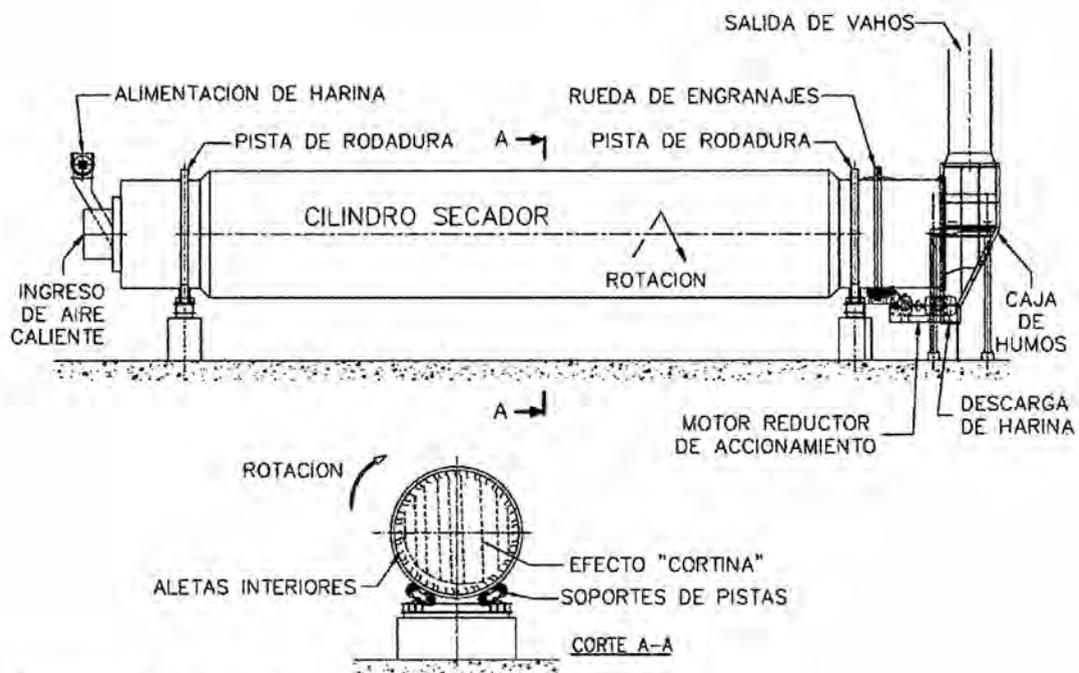
FIGURA 12. ENFRIADOR ESTÁTICO POSTERIOR AL SECADO
Fuente: ENERMIN PERÚ S.A.

5. DESCRIPCIÓN DETALLADA DEL PROYECTO DE INGENIERÍA

5.1 Marco Teórico Referencial

El secador de aire caliente, es un sistema convectivo basado en operaciones simultáneas de transferencia de masa y calor por convección forzada. Estas operaciones se realizan exponiendo el material húmedo a un flujo de aire caliente con muy baja humedad relativa, en el interior de un cilindro rotatorio con aletas que producen el efecto de "cortina" en la carga incrementando el área superficial de las partículas sólidas y a la vez trasladándola desde la entrada hacia la salida.

FIGURA 13. CILINDRO ROTATIVO CON FLUJOS PARALELOS DE AIRE Y HARINA



Fuente: Elaboración propia.

En la sección 5.2, se hace una descripción más detallada del sistema de secado por aire caliente el cual se compone básicamente de lo siguiente:

- Un cilindro rotatorio.
- Un generador de gases calientes.
- Un intercambiador de calor.
- Un ciclón separador de finos.
- Una torre de lavado de gases.

En los siguientes puntos se presentan las definiciones generales de los temas relacionados y posteriormente la teoría que fundamenta la determinación de la capacidad de secado del proyecto.

5.1.1 Definiciones generales

HARINA DE PESCADO

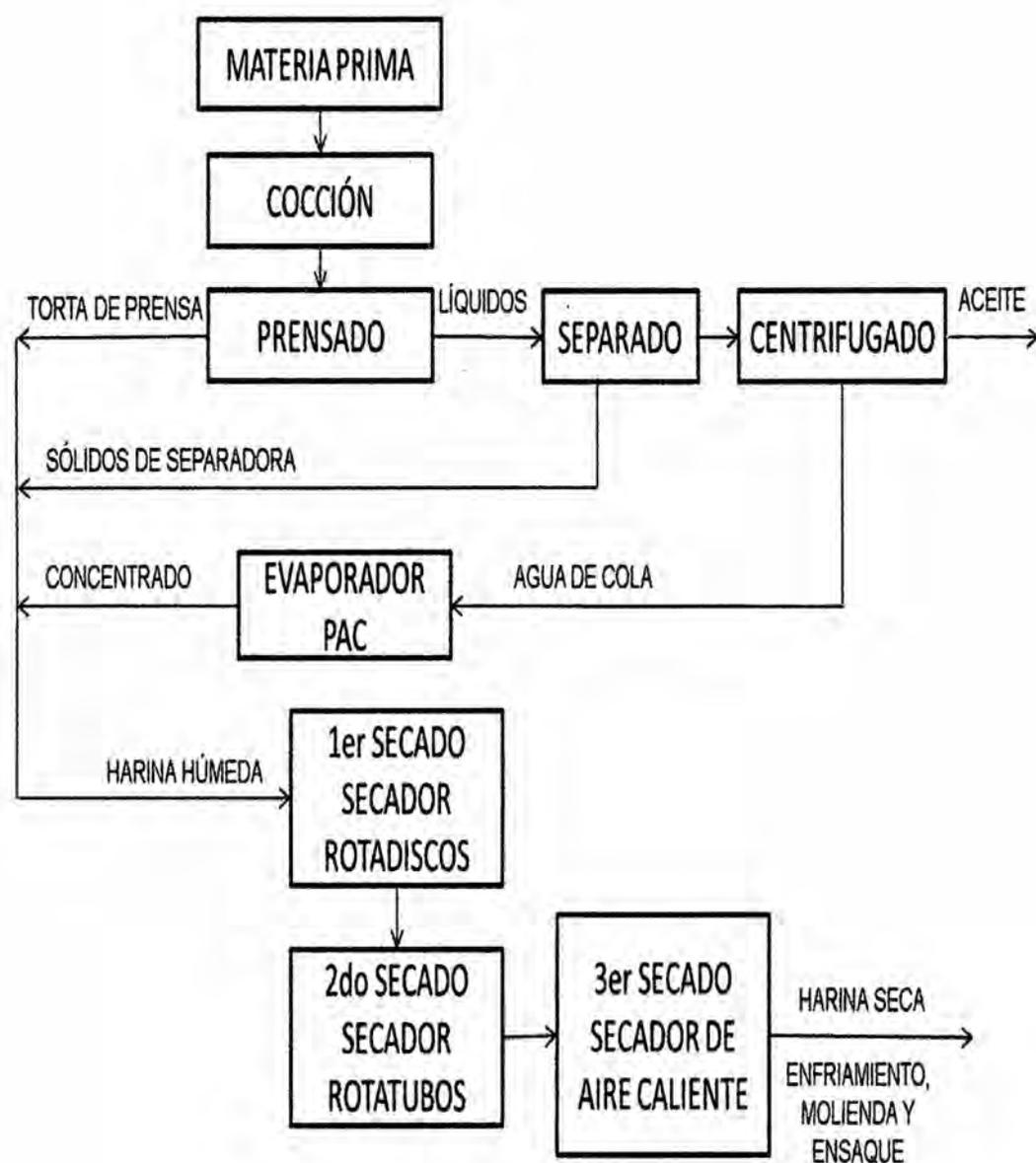
La harina de pescado es un producto orgánico con alto contenido de proteínas, utilizado como insumo para la alimentación de animales de los sectores ganadero, porcino, ovino, acuicultura y piscicultura.

En el Perú se procesa principalmente la anchoveta o *engraulis ringens*, de la que se obtienen harinas con aproximadamente el doble de Omega 3, respecto de otras especies.

Para obtener este producto se emplea un sistema continuo de cocción, prensado y secado. En la FIGURA 14 se muestra el diagrama de proceso

considerado en la producción de harina y aceite de pescado. El proyecto se enfoca en la implementación del sistema necesario para el tercer secado.

FIGURA 14. PROCESO PRODUCCIÓN DE HARINA Y ACEITE DE PESCADO



Fuente: Elaboración propia.

TABLA 1. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE CALIDADES DE HARINA DE PESCADO

PROCESO DE SECADO			FAQ	SECADO A VAPOR				
Calidad			STD	Super prime	Prime	Taiwán	Tailandia	STD
Proteína	%	min	64	68	67	67	67	64
Grasa	%	max	12	10	10	10	10	10
Humedad	%	max	10	10	10	10	10	10
Sal y arena	%	max	5	4	5	5	5	5
Arena sola	%	max	2	1	2	2	2	2
TVN	mg/100g	max	NA	100	120	120	150	NA
FFA	%	max	NA	7.5	10	10	10	NA
Histamina	ppm	max	NA	500	1000	NA	NA	NA
Antioxidante	ppm	min	150	150	150	150	150	150

NA: No aplica

Fuente: Corporación Pesquera Inca S.A. (COPEINCA).

En la TABLA 1, se muestran las especificaciones de los diferentes tipos de harina existentes en el mercado. La calidad FAQ es obtenida por secado directo y es considerada inferior a las calidades obtenidas por secado a vapor. Las calidades de harina producidas por la planta del proyecto son: Prime y Super Prime.

MATERIA PRIMA

El proceso productivo inicia, cuando la planta recibe la materia prima (pescado). El Laboratorio de Control de Calidad realiza un primer análisis a la materia prima para medir su grado de frescura, a través de la determinación del TVN (Nitrógeno Total Volátil), este índice cuantifica las bases nitrogenadas producidas durante el proceso de deterioro del

pescado y por consiguiente discrimina calidades de producto final. Posteriormente, la pesca es distribuida en la poza de almacenamiento para ser procesada prioritariamente de acuerdo a su calidad.

El agua que se ha usado como medio de transporte, agua de bombeo es tratada mediante un sistema de celdas de flotación que recupera los sólidos y grasas para añadirlos al sistema productivo. El pescado es luego transportado hacia los cocedores.

COCCIÓN

La cocción se realiza en un equipo compuesto por un cilindro y un eje en forma de tornillo. El calentamiento con vapor es exterior al cilindro, en las chaquetas, e interior al tornillo que permite el avance de la carga, consiguiéndose una transferencia más homogénea de la energía del vapor hacia el producto.

La temperatura del producto va desde los 80 hasta los 100 grados Celsius. Los objetivos principales de la cocción son los siguientes:

- Esterilizar y detener la actividad microbiológica.
- Coagular las proteínas.
- Permitir la separación de las grasas y residuos viscosos líquidos retenidos intra e intermuscularmente en la materia prima.

PRENSADO

El objetivo es la obtención de la torta de prensa o keke con la mínima

cantidad de agua para la producción de harina y los líquidos para la producción de aceite.

Esta etapa corresponde a un proceso de prensado mecánico de la materia prima, la operación se desarrolla en prensas de doble tornillo que consisten en dos cilindros huecos concéntricos, cada cilindro lleva fuertemente sujetas unas placas perforadas, de acero inoxidable, que tienen la función de tamiz. Los dos tornillos helicoidales de la prensa tienen forma ahusada y su paso varía de modo tal que dicho paso es máximo en el extremo más fino del cilindro. Los tornillos funcionan en direcciones opuestas, la materia entra por la parte de menor diámetro del cilindro y va hacia la más ancha.

La masa prensada de producto es transportada hacia los secadores y los líquidos hacia las separadoras.

SEPARADO

El objetivo es la separación mecánica de la mayor parte del contenido de sólido arrastrado por el líquido obtenido del prensado denominado licor de prensa.

Para esta operación se emplean centrifugas horizontales consistentes en un rotor cilíndrico en el cual el licor de prensa es tratado térmicamente, ingresa al rotor y por la fuerza centrífuga, es proyectado hacia la periferia de la cubeta en donde los sólidos más pesados quedan rápidamente precipitados a lo largo de la superficie interna del rotor. Un transportador

de tornillo helicoidal expulsa constantemente los sólidos precipitados denominados también tortas de separadora, se agrega a la torta de prensa y continúa hacia los secadores. La fase líquida o licor de separadora que contiene grasa y agua, es enviada por bombas a las centrifugas en la planta de aceite.

CENTRIFUGADO

El objetivo de este proceso es la separación del aceite. El Licor de Separadora es precalentado a una temperatura de 95 grados Celsius, facilitando la separación de sus componentes líquidos (fase acuosa y aceite). El licor de separadora ingresa a la centrifuga de disco vertical del tipo de auto limpieza de la que el agua de cola es impulsada y enviada constantemente a la planta evaporadora. Posteriormente, el aceite es bombeado a estanques para su almacenamiento final y despacho.

EVAPORADOR PAC

El objetivo de este proceso es obtener el concentrado de agua de cola para ser incorporado a la torta de prensa hacia los secadores.

Esta operación se realiza en evaporadores de múltiples efectos en las denominadas plantas de agua de cola (PAC), del tipo película descendente, con bajas temperaturas y operada a presiones de vacío. Las circulaciones del agua de cola a evaporar y el flujo de los vapores de calefacción son a contracorriente.

El aporte de energía para la evaporación se realiza por medio del uso de

los vahos procedentes de la primera y segunda etapa de secado a vapor.

SECADO

El objetivo es secar el sólido de la mezcla húmeda de torta de prensa, torta de separadora y concentrado de solubles de pescado provenientes de los evaporadores PAC. La temperatura final del producto secado no excede los 90 grados Celsius para minimizar el deterioro de los valores nutricionales.

Los niveles finales de contenido de humedad deben ser menores o iguales a 10 por ciento, con el fin de reducir la actividad microbiológica y el crecimiento de microorganismos.

Se cuenta con secadores dispuestos en tres etapas, los dos primeros de tipo conductivo: Secadores rotadiscos y secadores rotatubos. La tercera etapa es realizada por el secador convectivo de aire caliente.

ENFRIAMIENTO

Después del secado la harina se obtiene con la humedad requerida pero a una temperatura no conveniente para ser envasada inmediatamente, debido a lo cual son necesarios los enfriadores.

MOLIENDA

El objetivo de la molienda es pulverizar, uniformizando el producto, por medio de los molinos en los cuales la harina se desintegra por impacto con los martillos que giran rápidamente en torno a un eje horizontal. El

rotor lleva una rejilla que retiene la harina hasta que es lo suficientemente fina como para poder pasar por sus orificios.

ADICIÓN DE ANTIOXIDANTE

Generalmente la harina de pescado sufre oxidación de sus grasas, por ser un producto higroscópico que absorbe del ambiente humedad y oxígeno. Para evitarlo, el producto es envasado frío y se estabiliza con la adición de antioxidantes en un transportador mezclador de tornillo helicoidal mediante una bomba dosificadora con pulverización por aire.

PESADO, ENVASADO Y ENSAQUE

En esta etapa es muy importante la participación del Laboratorio de Control de Calidad, para efectuar los correspondientes análisis de TVN, proteína, grasa, humedad, y otros componentes que permiten clasificar y caracterizar la harina según las calidades definidas.

Generalmente la harina se pesa en una balanza regulada a 50 kilogramos, es colocada en sacos cerrados con máquinas de coser de cabezal fijo o de mano según sea el caso.

HARINA PRIME

Clasificada dentro del grupo de harinas secadas indirectamente con calentamiento a vapor. Debe tener un contenido mínimo de 67 por ciento de proteínas, una alta digestibilidad y un bajo porcentaje de sustancias biógenas tóxicas como la histamina, que no debe exceder las mil partes por millón, un porcentaje de humedad de entre 6 a 10 por ciento y un

porcentaje de materia grasa menor al 12 por ciento.

HARINA SUPER PRIME

Harina especial de alta calidad, secada a vapor, con mayor contenido de proteínas, mínimo 68 por ciento, menos de 500 partes por millón de histaminas y un contenido de nitrógeno total volátil TVN menor de 100 miligramos por cada 100 gramos de harina. Depende principalmente del estado de conservación de la materia prima antes del proceso y del tipo de secado.

HUMEDAD

Este término es usado para describir el contenido de agua en las dos condiciones siguientes:

Humedad de materiales sólidos

- Humedad en base seca.
- Humedad en base húmeda.
- Humedad en el equilibrio.
- Humedad ligada.
- Humedad no ligada.
- Humedad libre.

Humedad de mezclas gaseosas

- Humedad absoluta
- Humedad relativa
- Humedad de vapor saturado

En donde:

p_v = Presión parcial del vapor de agua.

p = Presión total de la mezcla vapor - aire.

MEZCLAS DE VAPOR - GAS SATURADAS (H_{As})

Cuando la presión parcial del vapor de agua en el aire a una temperatura dada, es igual a la presión de vapor de agua a la misma temperatura, se considera que el aire está saturado y la humedad absoluta se designa como humedad de saturación.

MEZCLAS DE VAPOR - GAS NO SATURADAS

Si la presión parcial del vapor en una mezcla de vapor-gas es por alguna razón menor que la presión de vapor en el equilibrio a la misma temperatura, la mezcla no está saturada.

TEMPERATURA DE BULBO SECO (T)

Es la temperatura de una mezcla vapor - aire determinada en forma ordinaria por inmersión de un termómetro en la mezcla.

TEMPERATURA DE BULBO HÚMEDO (T_{bh})

Es la temperatura de equilibrio dinámico obtenida por una superficie de agua cuando la velocidad de transferencia de calor por convección a la misma, es igual que la velocidad de transferencia de masa que se aleja de tal superficie.

TEMPERATURA DE SATURACIÓN ADIABÁTICA (T_s)

Si la corriente de aire se mezcla perfectamente con una cantidad de vapor a la temperatura T_s en un sistema adiabático, la temperatura del aire descenderá y su humedad aumenta.

Si T_s es tal que el aire que sale del sistema está en equilibrio con el agua, T_s es la temperatura de saturación adiabática y la línea que relaciona la temperatura con la humedad del aire es la llamada línea de saturación adiabática.

HUMEDAD RELATIVA (HR)

Expresada en porcentaje, se define como la presión parcial del vapor de agua en el aire, dividida entre la presión del vapor de agua a la temperatura de bulbo seco

$$HR = \frac{p_v}{p_s} * 100 \quad \text{Ec. (05)}$$

TEMPERATURA DE SATURACIÓN O DE ROCÍO

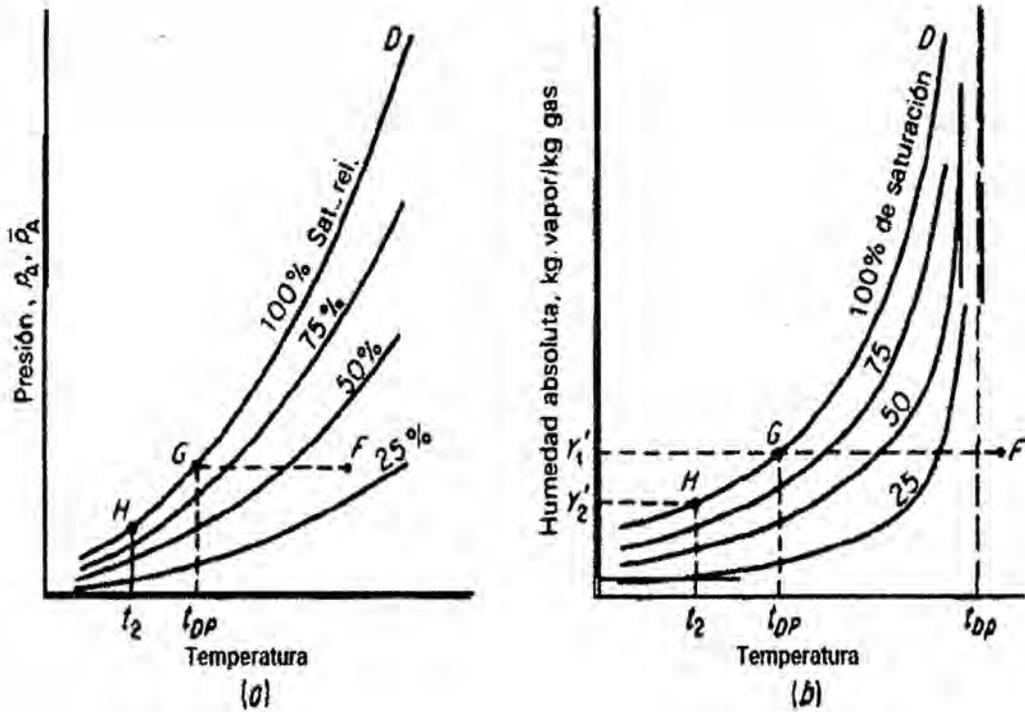
Temperatura en la cual una mezcla vapor-gas se satura, es decir la temperatura a la que el agua ejerce una presión de vapor igual a la presión parcial del vapor de agua en la mezcla dada.

Si la mezcla se enfría a una temperatura inferior continuara precipitando líquido de la mezcla vapor-gas.

En la FIGURA 16 se muestran las curvas típicas de los diagramas

psicrométricos.

FIGURA 16. FORMAS DE LAS CARTAS PSICROMÉTRICAS



Fuente: Referencia [03], p. 256.

VOLUMEN HÚMEDO (v_H)

Es el volumen específico de gas seco y de su vapor acompañante a la temperatura y presión dominantes. Para una mezcla de vapor y aire, considerando la ley de los gases ideales, el volumen húmedo se expresa por:

$$v_H = 8.315 * \left(\frac{1}{28.97} + \frac{HA}{18.02} \right) * \left(\frac{t + 273.15}{p} \right) \quad \text{Ec. (06)}$$

En donde:

v_H = Volumen húmedo, en m^3 de mezcla / kg de aire seco

p = Presión total de la mezcla vapor - aire, en kPa.

t = Temperatura de bulbo seco, en grados Celsius.

HA = Humedad absoluta en kg agua/kg de aire seco.

Para obtener el volumen total de la mezcla, se multiplica la masa de aire seco por el volumen húmedo.

VOLUMEN SATURADO

Es el volumen húmedo cuando el aire está saturado. El volumen húmedo de una mezcla saturada se calcula con la humedad absoluta igual a la humedad de saturación y para un gas seco se calcula con la humedad absoluta igual a cero.

CALOR HÚMEDO (C_s)

Es el calor que se requiere para aumentar un grado Celsius la temperatura de la masa unitaria de aire seco y su vapor acompañante, a presión constante. Para una mezcla con humedad absoluta HA se tiene:

$$C_s = 1.005 + 1.884 * HA , \quad \text{kJ / kg de aire } ^\circ\text{C} \quad \text{Ec. (07)}$$

Si no existe evaporación, ni condensación, el calor necesario para un incremento de temperatura de una masa de aire seco y su vapor acompañante será:

$$Q = M_{AS} * C_s * \Delta T \quad \text{Ec. (08)}$$

ENTALPIA

La entalpía específica o relativa de una mezcla vapor - aire es la suma de las entalpias específicas del contenido en gas y en vapor, se representa por la siguiente expresión:

$$H' = (1.005 + 1.884 * HA) * T + 2502.3 * HA \quad \text{Ec. (09)}$$

H' está en kJ / kg de aire, con referencia a aire gaseoso y agua líquida saturada a 0 °C.

SECADO CONTINUO

El secado continuo ofrece las ventajas siguientes: generalmente el equipo necesario es pequeño en comparación con la cantidad de producto; la operación se integra fácilmente con la fabricación continua, sin necesidad del almacenamiento intermedio; el producto tiene un contenido más uniforme de humedad y el costo de secado por unidad de producto es relativamente pequeño. En muchos de los secadores directos, el sólido se mueve a través del secador mientras que está en contacto con una corriente móvil de gas. El gas y el sólido pueden fluir en paralelo o a contracorriente; así mismo, el gas puede fluir tangencialmente a la trayectoria del sólido. Si el calor no se proporciona dentro del secador ni se pierde hacia el entorno, la operación es adiabática; entonces, el gas perderá calor sensible y se enfriará mientras la humedad evaporada absorbe calor latente de evaporación. Si el calor se proporciona dentro del secador, el gas puede mantenerse a temperatura constante.

En la operación adiabática a contracorriente, el gas más caliente está en contacto con el sólido más seco; por lo tanto, el sólido descargado se calienta a una temperatura que se puede aproximar a la del gas entrante. Esto proporciona el secado más rápido; en efecto, especialmente en el caso de la humedad ligada, las últimas trazas son las más difíciles de eliminar y esto se hace más rápidamente a temperaturas elevadas.

Por otra parte, el sólido seco puede descomponerse al calentarse a altas temperaturas. Además el sólido descargado caliente acarrea considerable calor sensible, con lo cual se disminuye la eficiencia térmica de la operación de secado.

En la operación adiabática en paralelo, el sólido húmedo se pone en contacto con el gas más caliente. Mientras esté presente la humedad superficial no contenida, el sólido se calentará únicamente a la temperatura de bulbo húmedo del gas; por esta razón, aún los sólidos sensibles al calor pueden secarse con frecuencia mediante un gas caliente en flujo paralelo.

SECADORES ROTATORIOS

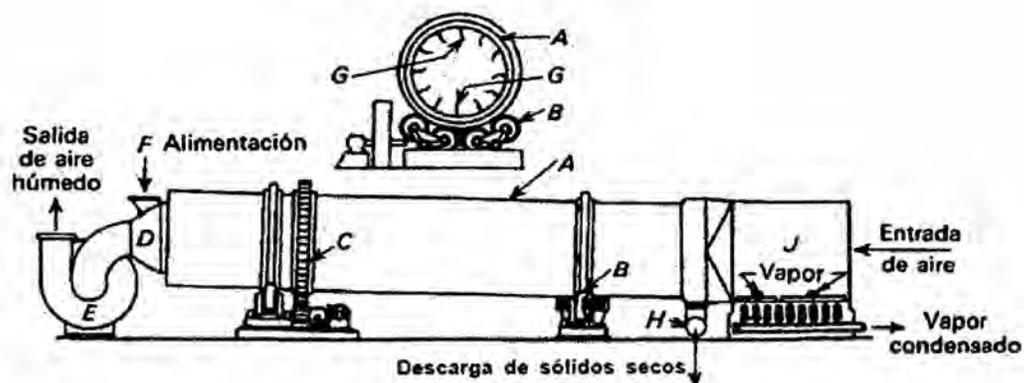
Forman un grupo muy importante de secadores; son adecuados para manejar materiales granulares de flujo libre que pueden arrojarse sin temor de romperlos, en la FIGURA 17, se muestra uno de éstos secadores, un secador de aire caliente directo a contracorriente. El sólido por secar se introduce continuamente en uno de los extremos de un

cilindro giratorio, como se muestra, mientras que el aire caliente fluye por el otro extremo.

El cilindro está instalado en un pequeño ángulo con respecto a la horizontal; en consecuencia, el sólido se mueve lentamente a través del aparato. Dentro del secador, unos elevadores que se extienden desde las paredes del cilindro en la longitud total del secador levantan el sólido y lo riegan en una cortina móvil a través del aire; así lo exponen completamente a la acción secadora del gas. Esta acción elevadora también contribuye al movimiento hacia delante del sólido.

En el extremo de alimentación del sólido, unos cuantos elevadores espirales pequeños ayudan a impartir el movimiento inicial del sólido hacia adelante, antes de que este llegue a los elevadores principales.

FIGURA 17. SECADOR ROTATORIO CON AIRE CALIENTE EN CONTRACORRIENTE



Secadero rotatorio con aire caliente en contracorriente: *A*, carcasa del secadero; *B*, rodillos para el soporte de la carcasa; *C*, engranaje; *D*, campana de descarga de aire; *F*, conducto de alimentación; *G*, pestañas elevadoras; *H*, descarga de producto; *J*, calentador de aire.

Fuente: Referencia [04], p. 851.

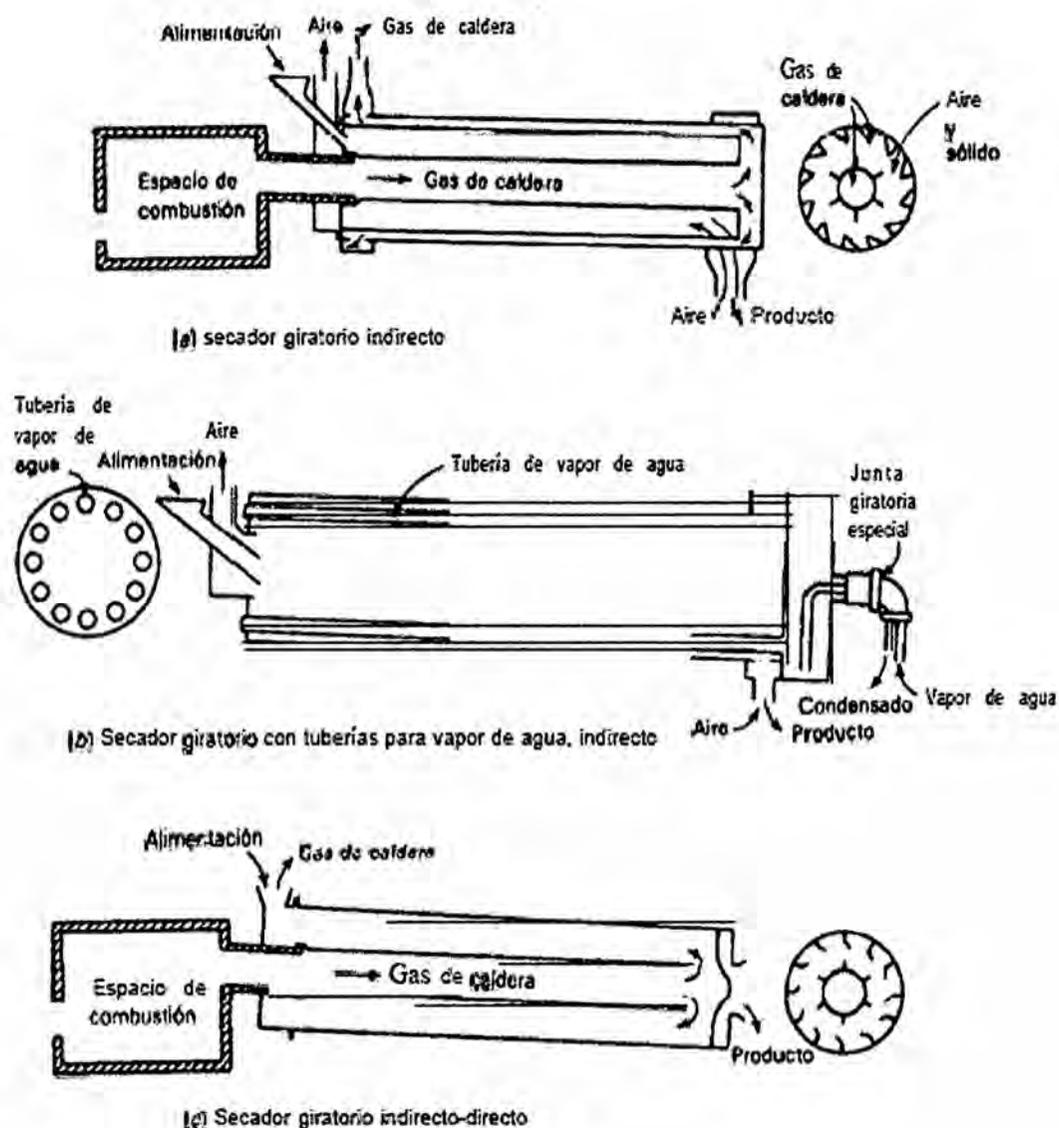
El secador puede alimentarse con gas de combustible caliente y no con aire; además, si el gas sale del secador a una temperatura lo suficientemente alta, al ser descargado a través del aire puede proporcionar una corriente de aire natural adecuada que proporcione el gas suficiente para el secado. Sin embargo se utiliza un ventilador de extracción para extraer el gas a través del secador, porque así se obtiene un control completo del flujo de gas. Los secadores rotatorios se fabrican para diversas operaciones. La clasificación siguiente incluye los tipos principales:

- Calor directo, flujo a contracorriente. Para materiales que pueden calentarse a temperaturas elevadas, como minerales, arena, piedra caliza, arcillas, etc. Se puede utilizar un gas de combustible como un gas de secado. Para sustancias que no pueden calentarse excesivamente, como ciertos productos químicos cristalinos, como sulfato de amonio y azúcar de caña, se puede utilizar aire caliente. El arreglo general en el que se muestra en la FIGURA 17; si se utiliza gas de combustible, las espirales de calentamiento se reemplazan por una caldera que este quemando gas o petróleo.
- Calor directo, flujo a corriente paralela. Los sólidos que pueden secarse con un gas de combustible sin miedo de contaminarlos, pero no deben calentarse a temperaturas muy elevadas por temor a dañarlos, como son: yeso, pirita de hierro y materiales orgánicos

como turba y la alfalfa. La construcción general es muy similar al de la FIGURA 17.

- Calor indirecto, flujo a contracorriente. Para sólidos para pimientos blancos y similares, que pueden calentarse a temperaturas elevadas pero que nunca deben entrar en contacto con el gas, puede utilizarse el secador indirecto que se muestra en forma esquemática en la FIGURA 18a. Como una construcción alternativa, el secado puede encerrarse en una estructura de ladrillo y rodearse completamente con los gases calientes de combustible. El flujo de aire en un secador este tipo debe ser mínimo, puesto que el calor se proporciona por conducción a través de la estructura o tubería central; además, de esta manera pueden manejarse los sólidos muy finamente divididos que tienden a formar polvo. Para los sólidos que no se deben calentar a temperaturas elevadas y para los cuales es deseable el calor indirecto, como el alimento para ganado, granos para cerveza, plumas y similares, se puede utilizar el secador de tubería con vapor que se muestra en la FIGURA 18b. El secador puede tener o no elevadores y puede construirse con una, dos o más hileras concéntricas de tubos calentados con vapor. Como los tubos giran con el secador, es necesaria una junta giratoria especial en donde se introduce el vapor y se separa el condensado. Con frecuencia se utiliza este tipo de secador cuando se necesita la recuperación del líquido evaporado.

FIGURA 18. ESQUEMAS DE SECADORES ROTATORIOS



Fuente: Referencia [03], p. 763.

- Directo-indirecto. Estos secadores, más económicos de manejar que los secadores directos, pueden utilizarse para sólidos que pueden secarse a altas temperaturas mediante un gas de combustible, en especial cuando los costos de combustible son altos y cuando se deben eliminar elevados porcentajes de humedad del sólido. En la

FIGURA 18c, se muestra. En un secador de este tipo, el gas caliente puede entrar al tubo central a 650 a 980 grados Celsius, es enfriado hasta 200 a 480 grados Celsius, cuando pase por vez primera por el secador y regresado a través del espacio de secado anular para que se enfríe más hasta 60 a 70 °C durante la descarga. Lignita, carbón y coque pueden secarse en atmosfera inerte en este secador a temperaturas relativamente altas sin peligro de que se quemen o de provocar una explosión de polvos.

SECADORES CONDUCTIVOS

El aporte de calor y evaporación de agua se produce por contacto con una superficie metálica calefaccionada. Típicamente son usados para las primeras etapas de secado con humedades finales mayores a 20 por ciento, con diseños de rotadiscos y rotatubos.

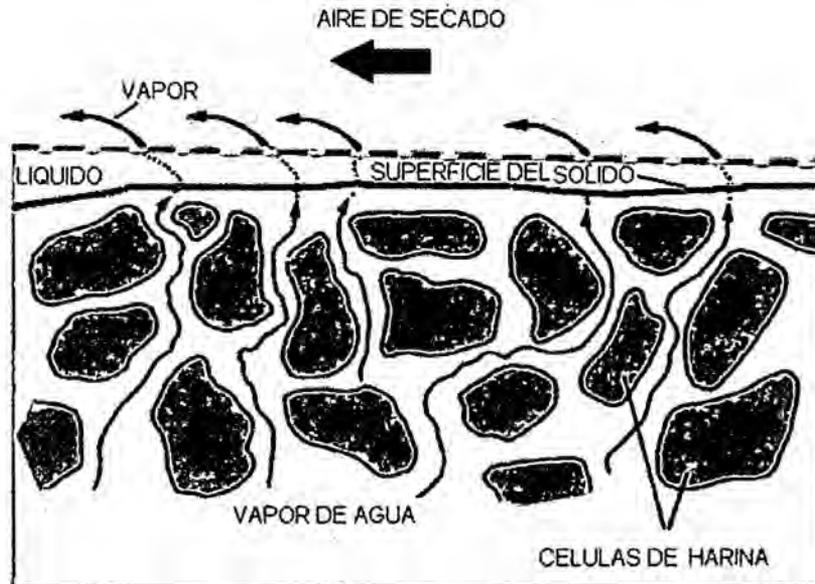
VAHO

Es la denominación que tiene la mezcla gaseosa de aire y vapor de agua liberado por el material húmedo durante los procesos de cocción y secado.

SECADORES CONVECTIVOS

Utilizan un gas de secado, para aportar calor y arrastrar el agua evaporada. Recomendado para la última etapa de secado, con bajas humedades de entrada, aproximadamente 20 por ciento y humedades de salida de 7 a 10 por ciento.

FIGURA 19. SECADO CONVECTIVO



Fuente: Elaboración propia.

SECADORES CON GASES DE FUEGO DIRECTO

La composición aproximada del gas de secado es una mezcla de gases de combustión, aire ambiente y vapor de agua sobrecalentado. El nombre del secador hace referencia al componente mayoritario del gas de secado, en este caso, los gases de combustión. Este tipo de secadores permite alcanzar las máximas capacidades y las más altas eficiencias de uso del combustible, en la medida que se utilice a altas temperaturas de secado, pero con una reducción considerable de la calidad de la harina.

SECADORES POR VAPOR SOBRECALENTADO

La composición aproximada del gas de secado es una mezcla de vapor sobrecalentado de agua y una mínima cantidad de aire ambiente. El

nombre del secador hace referencia al componente mayoritario del gas de secado, en este caso, vapor sobrecalentado. Este tipo de secadores permite alcanzar buenas calidades de harina y asegurar la no contaminación del producto.

SECADORES POR AIRE CALIENTE

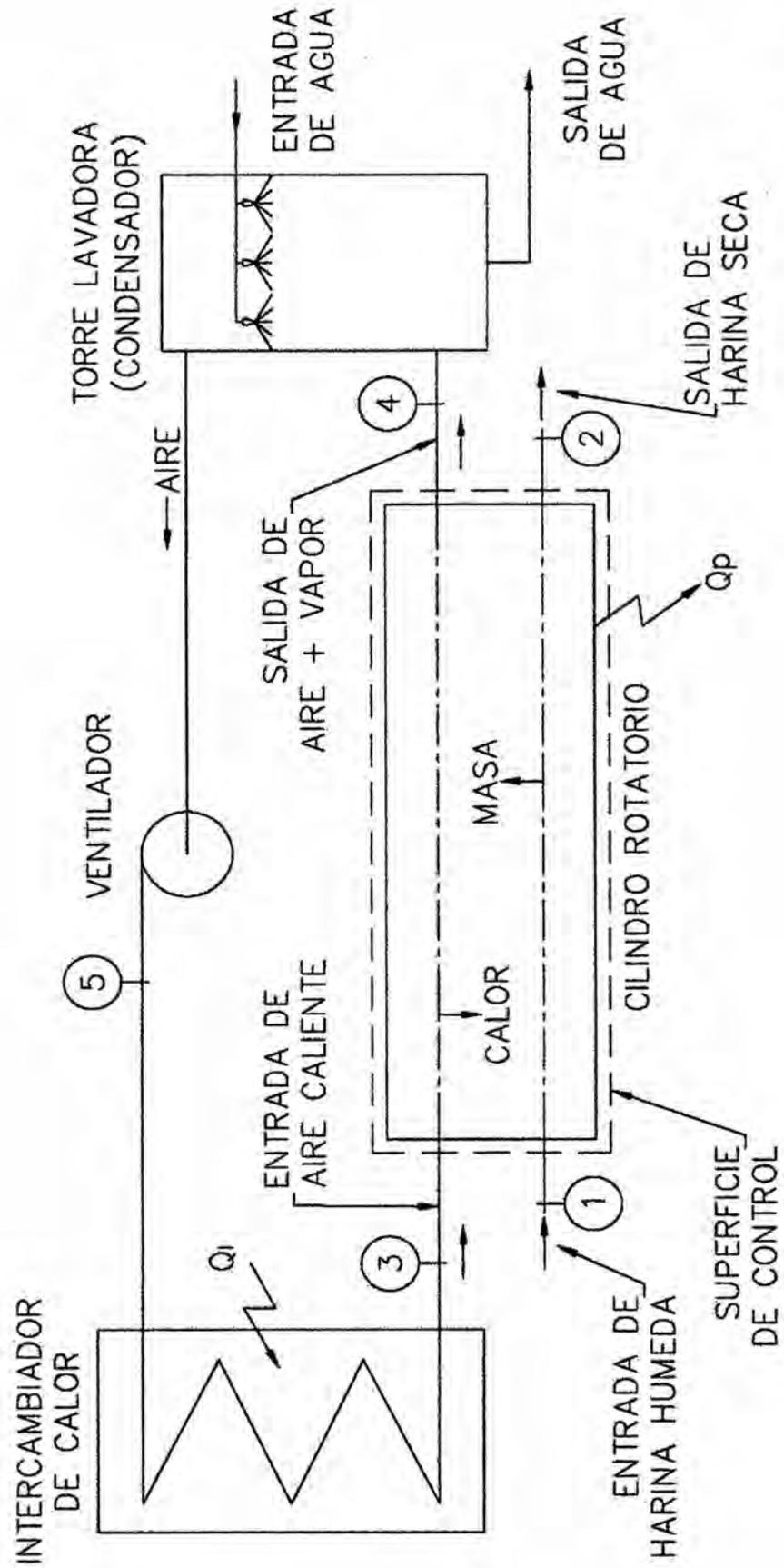
La composición aproximada del gas de secado es una mezcla aire ambiente y vapor sobrecalentado de agua. El nombre del secador hace referencia al componente mayoritario del gas de secado, en este caso, aire. Este tipo de secador permite alcanzar las máximas calidades de harina y asegurar la no contaminación del producto. No permite recuperar el calor contenido en los gases de salida.

5.1.2 Teoría

Para la determinación de las capacidades de los equipos del secador de aire caliente, se evaluó básicamente la operación de secado en el cilindro rotatorio, teniendo en consideración lo siguiente:

- El sistema se analizó como un proceso de estado estable y flujo estable.
- Se aplicó la ley de conservación de la masa con la ecuación de continuidad.
- Se aplicó la primera ley de la termodinámica para un volumen de control.

FIGURA 20. ESQUEMA DE FLUJO DE PROCESO PARA BALANCE DE MATERIA Y ENERGÍA



Fuente: Elaboración propia.

BALANCE DE MATERIA Y ENERGÍA

VARIABLES DE PROCESO:

EVAP : Capacidad de evaporación del secador, kg/h de agua evaporada

Q_p : Pérdidas de calor en el cilindro de secado, kJ/h

Q_i : Energía entregada por intercambiador, kJ/h

HARINA:

C_{ES} : Calor específico de la harina seca, kJ/kg °C

T₁ : Temperatura de entrada de harina, grados Celsius

M₁ : Masa total de entrada de harina, kg/h

M_{S1} : Masa seca de entrada de harina, kg/h

h'_{w1} : Entalpía de agua en entrada de harina, kJ/kg

W₁ : Humedad de entrada de harina, porcentaje en base húmeda

T₂ : Temperatura de salida de harina, grados Celsius

M₂ : Masa total de salida de harina, kg/h

M_{S2} : Masa seca de salida de harina, kg/h

W₂ : Humedad de salida de harina, porcentaje en base húmeda

h'_{w2} : Entalpía de agua en salida de harina, kJ/kg

AIRE DE SECADO:

- M_3 : Masa de entrada de aire húmedo, kg/h
- M_{AS3} : Masa de entrada de aire seco, kg/h
- T_3 : Temperatura de entrada de aire (bulbo seco), grados Celsius
- HA_3 : Humedad absoluta de entrada de aire, kg agua/kg aire seco
- v_3 : Volumen húmedo de entrada de aire, m^3 de mezcla / kg aire seco
- p_{v3} : Presión parcial de vapor en entrada de aire, kPa
- H'_3 : Entalpía de entrada de aire, kJ/kg aire seco
- M_4 : Masa de salida de aire húmedo, kg/h
- M_{AS4} : Masa de salida de aire seco, kg/h
- T_4 : Temperatura de salida de aire (bulbo seco), grados Celsius
- HR_4 : Humedad relativa de salida de aire, porcentaje
- HA_4 : Humedad absoluta de salida de aire, kg agua/kg aire seco
- v_4 : Volumen húmedo de salida de aire, m^3 de mezcla / kg aire seco
- p_{v4} : Presión parcial de vapor en salida de aire, kPa
- H'_4 : Entalpía de salida de aire, kJ/kg aire seco

- M_5 : Masa de aire húmedo después de condensador, kg/h
- M_{AS5} : Masa de aire seco después de condensador, kg/h
- T_5 : Temperatura de aire (bulbo seco) después del condensador, grados Celsius
- HR_5 : Humedad relativa de aire después del condensador, porcentaje
- HA_5 : Humedad absoluta de aire después del condensador, kg agua/kg aire seco
- v_5 : Volumen húmedo de aire después del condensador, m^3 de mezcla / kg aire seco
- V_5 : Flujo volumétrico de aire después del condensador, m^3 / h aire seco
- p_{v5} : Presión parcial de vapor en aire después del condensador, kPa
- H'_5 : Entalpía de aire después del condensador, kJ/kg aire seco

BALANCE DE MATERIA

Considerando que en el volumen de control de un proceso de estado estable y flujo estable el flujo de masa que ingresa es igual al de salida, luego el balance de contenido de agua es:

$$\text{Masa total de ingreso de agua} = \text{Masa total de salida de agua}$$

$$M_{AS3} * HA_3 + M_1 * W_1 = M_{AS4} * HA_4 + M_2 * W_2 \quad \text{Ec. (10)}$$

Despreciando las infiltraciones y pérdidas por los sellos del cilindro secador y considerando que la transferencia de masa se produce sólo por el cambio de humedades del gas y el sólido en magnitud igual a la capacidad de evaporación nominal del sistema; se tiene que las masas de aire seco y harina seca se mantienen constantes. Además, en el esquema mostrado en la FIGURA 20, entre los puntos 5 y 3 sólo se produce un calentamiento del flujo de aire y las humedades absolutas también se mantienen constantes; obteniéndose:

$$M_{AS3} = M_{AS4} = M_{AS5} \quad \text{y} \quad HA_3 = HA_5$$

$$\text{EVAP} = \frac{\text{Cambio de masa de agua en aire}}{\text{Cambio de masa de agua en harina}}$$

Reemplazando en la Ec. 10:

$$M_{AS5} * HA_5 + M_1 * W_1 = M_{AS5} * HA_4 + M_2 * W_2$$

$$\text{EVAP} = M_{AS5} * (HA_4 - HA_5) = M_1 * W_1 - M_2 * W_2 \quad \text{Ec. (11)}$$

Por lo tanto, la masa de aire seco necesaria para los cálculos de flujos volumétricos en los diferentes puntos del sistema será:

$$M_{AS5} = \frac{\text{EVAP}}{HA_4 - HA_5} \quad \text{Ec. (12)}$$

La humedad absoluta HA_4 se obtiene con los datos de temperatura T_4 , y la humedad relativa HR_4 .

La humedad absoluta HA_5 se obtiene con los datos de temperatura T_5 , y la humedad relativa HR_5 , que a la salida del condensador es igual a 100 por ciento.

Con el valor conocido de presión total, el volumen específico y el flujo volumétrico de aire húmedo en la entrada al ventilador se determinan por:

$$v_5 = 8.315 * \left(\frac{1}{28.97} + \frac{HA_5}{18.02} \right) * \left(\frac{T_5 + 273.15}{P_5} \right) \quad \text{Ec. (13)}$$

$$V_5 = v_5 * M_{AS5} \quad \text{Ec. (14)}$$

Respecto al flujo de harina, la masa de harina seca es:

$$M_S = M_{S1} = M_1(1 - W_1) = M_{S2} = M_2(1 - W_2) \quad \text{Ec. (15)}$$

Reemplazando en la Ec. 11, la evaporación, calculada en función de la producción de harina M_2 y las humedades de entrada y salida es:

$$EVAP = M_2 \left(\frac{1 - W_2}{1 - W_1} * W_1 - W_2 \right) \quad \text{Ec. (16)}$$

La masa de harina seca es:

$$M_S = \frac{EVAP}{\left(\frac{W_1}{1-W_1} - \frac{W_2}{1-W_2} \right)} \quad \text{Ec. (17)}$$

Además, las masas de agua en la harina de salida y entrada son:

$$\text{Masa agua en harina : salida} = M_2 W_2 \quad \text{Ec. (18)}$$

$$\text{Masa agua en harina: entrada} = M_1 W_1 = EVAP + M_2 W_2 \quad \text{Ec. (19)}$$

BALANCE DE ENERGÍA

Considerando el esquema del balance de energía de la FIGURA 21, aplicando la primera ley de la termodinámica para un volumen de control en un proceso de estado estable y flujo estable, tenemos que en ausencia de trabajo, la rapidez con la cual el calor atraviesa la superficie de control permanece constante.

$$\text{FLUJO DE CALOR DE INGRESO} = \text{FLUJO DE CALOR DE SALIDA}$$

$$\text{Ec. (20)}$$

$$\text{CALOR TOTAL INGRESO} = M_{AS} * H'_3 + M_S * h'_{S1} + (EVAP + M_2 * W_2) * h'_{W1}$$

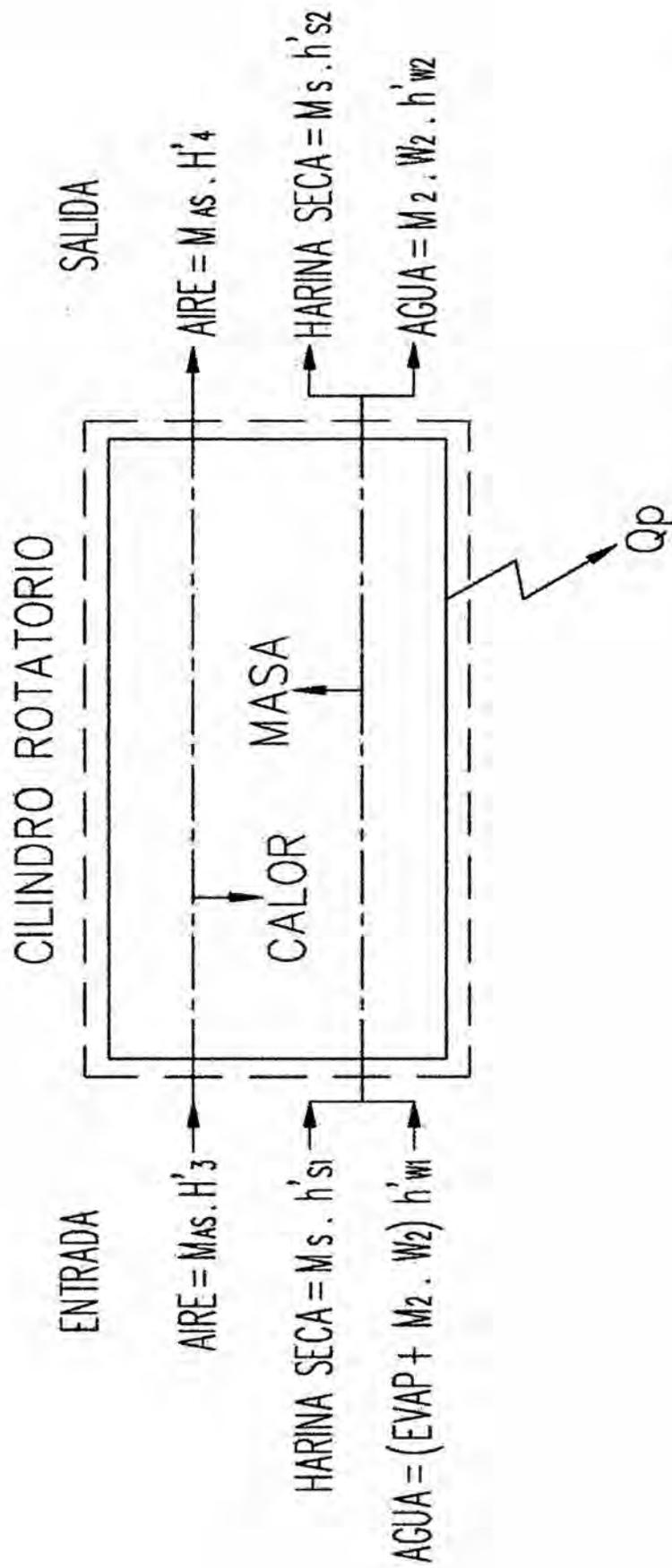
$$\text{CALOR TOTAL SALIDA} = Q_P + M_{AS} * H'_4 + M_S * h'_{S2} + M_2 * W_2 * h'_{W2}$$

Con los datos conocidos se determina el valor de la entalpía H'_3 :

$$H'_3 = \frac{Q_P + M_{AS} H'_4 + M_S C'_{ES} (T_2 - T_1) + \frac{M_S W_2 (h'_{W2} - h'_{W1})}{1 - W_2} - h'_{W1} EVAP}{M_{AS}}$$

$$\text{Ec. (21)}$$

FIGURA 21. ESQUEMA DE BALANCE DE ENERGÍA EN CILINDRO SECADOR



Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, el calor entregado por el intercambiador de la FIGURA 20 será:

$$Q_1 = M_{AS} * (H'_3 - H'_5) \quad \text{Ec. (22)}$$

5.1.3 Normas Técnicas

La construcción soldada de los equipos se realizó siguiendo las recomendaciones consideradas para los materiales y procesos de soldadura según la American Welding Society (AWS).

El secador de aire caliente es un sistema diseñado para operar a presiones cercanas a la atmosférica. No requiere certificación para equipos a presión basados en el código de la American Society of Mechanical Engineers (ASME).

Las estructuras de soporte, construidas en acero estructural, se diseñaron considerando las recomendaciones de la American Institute of Steel Construction (AISC).

Para los materiales de fabricación se utilizaron las especificaciones de la American Society for Testing and Materials (ASTM International).

Para la protección anticorrosiva de las superficies de acero al carbono se utilizaron los métodos de preparación de superficies especificados por el Steel Structures Painting Council (SSPC) y la National Association of Corrosion Engineers (NACE), que son las principales organizaciones Internacionales que han normado los grados de preparación.

Las principales especificaciones de los materiales utilizados son:

- Acero inoxidable ASME/ASTM A-249, TP321, para los tubos soldados del intercambiador de calor.
- Acero inoxidable ASTM A-240, tipo 304L, calidad 2B, para las planchas laminadas utilizadas en la fabricación de lavadores de gases, ciclones y ductos de interconexión en la zona de descarga del secador de aire caliente.
- Acero estructural ASTM A-36, en perfiles estructurales laminados y planchas estructurales laminadas en caliente.
- Acero inoxidable ASTM A-403, grado 316L, SCH 40S, para los fitting o accesorios soldables en instalaciones de tuberías para agua fría a baja presión.
- Acero inoxidable ASTM A-312, grado 304L, SCH 40, para las tuberías de sin costura en instalaciones de agua fría a baja presión.
- Acero al carbono ASTM A-53, grado B, SCH 40, para las tuberías sin costura en instalaciones de vapor y petróleo a baja presión.
- Acero al carbono ASTM A-234, WPS, para los fitting o accesorios soldables en instalaciones de vapor y petróleo a baja presión.
- Acero al carbono forjado ASTM A-105, para las conexiones bridadas ANSI B16.5 150 lbs, en instalaciones de vapor y petróleo a baja presión.
- Acero inoxidable forjado ASTM A-182, grado F316L, para las conexiones bridadas ANSI B16.5 150 lbs, en instalaciones de agua a

baja presión.

- Protección anticorrosiva con base y acabado epóxico, espesor final 8 a 10 mils, preparación SSPC-SP-6 NACE-3, procedimiento para preparar superficies metálicas, mediante abrasivos a presión, a través del cual es eliminado todo el óxido, escama de laminación, pintura y materiales extraños.
- Soldaduras de acero estructural de bajo hidrógeno para proceso SMAG, AWS E-7018.
- Soldadura de acero inoxidable para proceso TIG (GTAW), AWS ER308L.
- Soldadura de acero inoxidable para proceso SMAW, AWS E-308.
- Soldadura de acero inoxidable para proceso SMAW, AWS E-312, para uniones de inoxidables con acero al carbono.

5.2 Antecedentes y descripción del proyecto

Las empresas pesqueras han tenido que afrontar importantes inversiones para adecuarse a la normativa ambiental con el fin de cumplir con los controles de efluentes y emisiones en el área de influencia de su actividad. Como referencia, a continuación se mencionan algunos artículos de la resolución del Ministerio de la Producción (PRODUCE), RM 242-2009-PRODUCE:

Artículo 1.- *Los titulares de establecimientos industriales pesqueros de harina y aceite de pescado y de harina residual de recursos*

hidrobiológicos deberán innovar el sistema de secado, por sistemas de secado a vapor indirecto, secado con recirculación de gases calientes, sistemas de secado que incluyan tratamientos eficientes de gases, recuperación de material particulado (finos de harina) u otros, siempre que sus emisiones estén en los rangos aprobados por el Decreto Supremo N° 011-2009-MINAM, para su implementación de acuerdo al cronograma establecido en el artículo 1 de la presente Resolución.

Artículo 2.- *Modificar el plazo establecido en el artículo 1 de la Resolución Ministerial N° 621-2008-PRODUCE, en lo que respecta a los titulares de los establecimientos industriales pesqueros de harina y aceite de pescado y de harina residual de recursos hidrobiológicos ubicados en los puertos de Chimbote, Callao, Chancay y Pisco, el mismo que vencerá el 31 de julio de 2010.*

Artículo 3.- *Ampliar excepcionalmente el plazo para la presentación del cronograma de inversiones de innovación tecnológica establecido en el artículo 3 de la Resolución Ministerial N° 621-2008-PRODUCE, ampliado por Resolución Ministerial N° 774-2008-PRODUCE, en sesenta (60) días calendario adicionales, para los titulares de los establecimientos industriales pesqueros ubicados en los puertos comprendidos en el primer grupo (Chimbote, Callao, Chancay y Pisco) del cronograma establecido en el artículo 1 de la Resolución Ministerial N° 621-2008-PRODUCE. Los demás titulares de establecimientos industriales pesqueros ubicados en los puertos comprendidos en el señalado cronograma, deberán presentar*

el cronograma de inversiones de innovación tecnológica con un (01) año de anticipación a la fecha de vencimiento establecida en la norma citada.

Según los datos del informe del sector pesca del 18 de abril de 2010, del departamento de estudios económicos del banco Scotiabank,¹ el cliente tuvo previsto invertir 40 millones de dólares en los siguientes dos años, tanto en la conversión de sus plantas de harina estándar a harinas especiales como en la consolidación de sus operaciones, en las plantas de Chicama y Chimbote.

En este contexto, a fines del año 2010, Enermin Perú S.A. se comprometió con la empresa Corporación Pesquera Inca SAC (COPEINCA), a suministrar un sistema de secado por aire caliente, marca ENERCOM, modelo SAC-8000, para su planta de producción de harina de pescado ubicada en el distrito de Chancay, en el kilómetro 84 de la Antigua carretera Panamericana Norte, provincia de Huaral, departamento de Lima. El secador con intercambiador gas – gas, para operar con petróleo residual R-6 ó R-500, se especificó para una capacidad de evaporación de 8000 kg/h.

Este nuevo sistema de secado convectivo por aire caliente debía tener la capacidad de ser usado en la tercera etapa de secado, luego de los presecados con los equipos conductivos denominados rotadiscos y

¹ Referencia [06], p. 5.

rotatubos, para una capacidad de 168 toneladas métricas por hora de procesamiento de materia prima en la planta.

El secado convectivo por aire caliente es la operación final de secado de la harina de pescado, establecida principalmente para mejorar la calidad, reducir los problemas de control con bajas humedades de salida, reducir los reprocesos, elevar los contenidos de proteínas y mejorar la digestibilidad.

Estas cualidades se deben básicamente a las condiciones de secado convectivo a baja temperatura de salida, dándole a la producción final una mayor confiabilidad en la uniformidad de la composición especificada respecto de la producción general de harina secada a vapor con equipos conductivos. La implementación de un secador por aire caliente en la última etapa de secado ha constituido además un incremento en el precio de la harina debido a que se espera una calidad más uniforme y superior.

Considerando el esquema mostrado en la FIGURA 22, a continuación se describen brevemente los componentes principales del sistema secador de aire caliente:

- **Generador de gases calientes GGC-15V6.-** Compuesto por una cámara, ventilador, quemador y sistema de combustión. Los productos de combustión generados en la cámara, se mezclan con los gases del circuito de recirculación que atraviesa los bancos de tubos del intercambiador.

- **Intercambiador gas - gas.-** De cuatro bancos de tubos, con flujo transversal a contracorriente y con una derivación del flujo de entrada, para el control de temperatura. Calienta el aire de secado que circula por el interior de los tubos.
- **Cilindro rotativo de secado.-** Es el equipo usado para el intercambio térmico y másico entre la harina húmeda y el aire de secado con flujos paralelos. La harina seca es separada en la caja de salida.
- **Ciclón.-** Cumple la función de separar las partículas finas arrastradas por el flujo de aire de secado a la salida del cilindro rotativo.
- **Torre lavadora.-** Instalada a continuación del ciclón, tiene la función de condensar la humedad retirada de la harina acondicionando la reutilización del aire de secado en circuito cerrado antes de volver a ingresar al intercambiador de calor.
- **Ductos de recirculación.-** Incluyen el ventilador y compuerta para regulación de flujo.
- **Ductos de aire de secado.-** Se consideran los ductos, compuertas y ventilador que unen el circuito compuesto por el intercambiador, el cilindro rotativo, el ciclón y la torre lavadora.
- **Ducto de incineración.-** Utilizado para incinerar el aire excedente por incremento de presión en el circuito de secado. La incineración

se produce en la cámara de combustión, luego de ser aspirados por su ventilador.

Adicionalmente es requerido un sistema para el control automático y monitoreo de las variables de operación del conjunto.

5.3 Planteamiento y alcance del proyecto

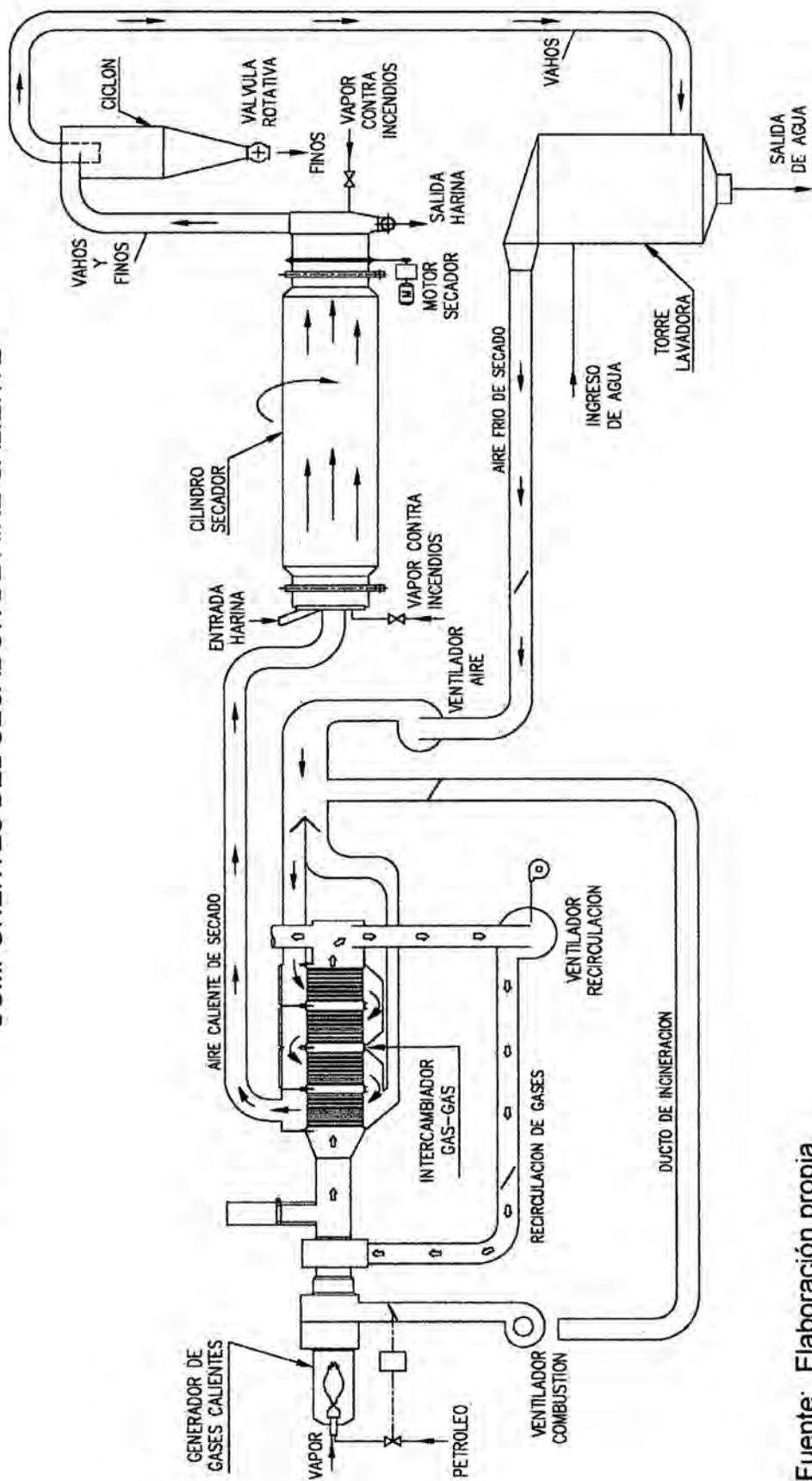
El secador convectivo por aire caliente denominado SAC-8000, se complementó con el acondicionando de algunos equipos de los antiguos procesos de secado a fuego directo utilizados por el cliente en su planta de Chancay y en otras sedes.

SUMINISTROS DE ENERMIN PERÚ S.A.

Enermin Perú S.A. se comprometió con lo siguiente:

- Diseño del layout requerido para la instalación del sistema de secado.
- Elaboración de los planos de bases con información para el diseño de las cimentaciones de los equipos del sistema de secado.
- Acondicionamiento de la cámara de combustión del generador de gases calientes ENERCOM GGC-13V6, usada en su antiguo secador a fuego directo, para instalarla en el circuito de recirculación de gases.
- Suministro e instalación de un intercambiador de calor de cuatro pasos, de flujo transversal a contracorriente.
- Suministro e instalación de un sistema de recirculación de gases

FIGURA 22. ESQUEMA SIMPLIFICADO DE INSTALACIÓN DE EQUIPOS COMPONENTES DEL SECADOR DE AIRE CALIENTE



Fuente: Elaboración propia.

calientes, con un ventilador y ductos de interconexión entre el GGC-13V6 y el intercambiador.

- Suministro e instalación de un sistema de recirculación de aire de secado, con un ventilador y ductos de interconexión entre el intercambiador y el cilindro rotativo de secado de harina.
- Suministro e instalación de un lavador de vahos, para condensación de la humedad extraída de la harina.
- Suministro e instalación de una caja de separación a la salida del cilindro rotativo.
- Acondicionamiento e instalación de un ciclón separador de las partículas finas arrastradas por la corriente de vahos en la salida del cilindro rotativo.
- Acondicionamiento del cilindro rotativo de secado, modificando el sistema de aletas e instalando los sellos en la entrada y salida.
- Suministro e instalación del sistema de control automático.
- Instalación y cableado de la instrumentación requerida, hasta el tablero de control automático.

SUMINISTROS DE COPEINCA

El cliente por su parte se comprometió con lo siguiente:

- Suministro e instalación de un cilindro rotatorio de secado.
- Suministro e instalación del sistema motriz del cilindro rotatorio.

- Suministro de un ciclón separador de finos, con estructura de soporte.
- Diseño y construcción de las bases de concreto y obras civiles complementarias de todo el sistema de secado.
- Suministro e instalación de accionamientos de motores eléctricos.
- Instalación de alimentación eléctrica a motores.
- Suministro e instalación de las líneas de entrada y salida de agua de mar para condensación de vahos en la torre lavadora.
- Suministro e instalación del sistema de alimentación de combustible compuesto por el tanque de diario, bombas y líneas de alimentación y retorno de petróleo.
- Suministro e instalación de línea de alimentación eléctrica hasta el tablero de control automático.
- Construcción de un pozo de tierra para instrumentación.
- Suministro e instalación de las alimentaciones de vapor y aire comprimido hasta las válvulas de corte en el área del secador.
- Suministro e instalación de la alimentación de vapor del sistema contra incendios.
- Suministro e instalación de transportador tipo tornillo para alimentación de harina húmeda al cilindro secador.
- Suministro e instalación de transportador tipo tornillo para descarga de harina del ciclón y caja de humos.

5.4 Fases o etapas del proyecto

Para la implementación del proyecto fue necesario planificar y programar las siguientes fases o etapas:

Ingeniería básica

En esta etapa se definen las capacidades de los equipos en función a los parámetros de operación establecidos, generando las especificaciones requeridas para los suministros de alimentación eléctrica, consumos de combustible y necesidades de flujos de agua, aire y vapor saturado. Esta información se utilizó para la elaboración del diagrama de flujo de procesos (flowsheet) y los requerimientos solicitados al cliente para las cargas eléctricas y suministros. Los puntos tratados en esta etapa fueron:

- Determinación de la capacidad de evaporación del secador.
- Definición de la capacidad de los componentes del secador.
- Definición de requerimientos de cargas y suministros.
- Flowsheet del sistema de secado.

Ingeniería de detalle

Con la información de la ingeniería básica se desarrollaron los planos de layout de la instalación cuya disposición de equipos, luego de ser aprobada por el cliente, se utilizó para definir las bases, estructuras, plataformas de accesos, ductos, instrumentación y demás componentes complementarios. Los puntos tratados fueron:

- Layout de la instalación.
- Detalles de la instalación y revisión de diseños.
- Instrumentación y control

Fabricación, montaje e instalación de equipos

Con los planos e información de la ingeniería de detalle se procedió con esta etapa hasta dejar listos los equipos para las pruebas.

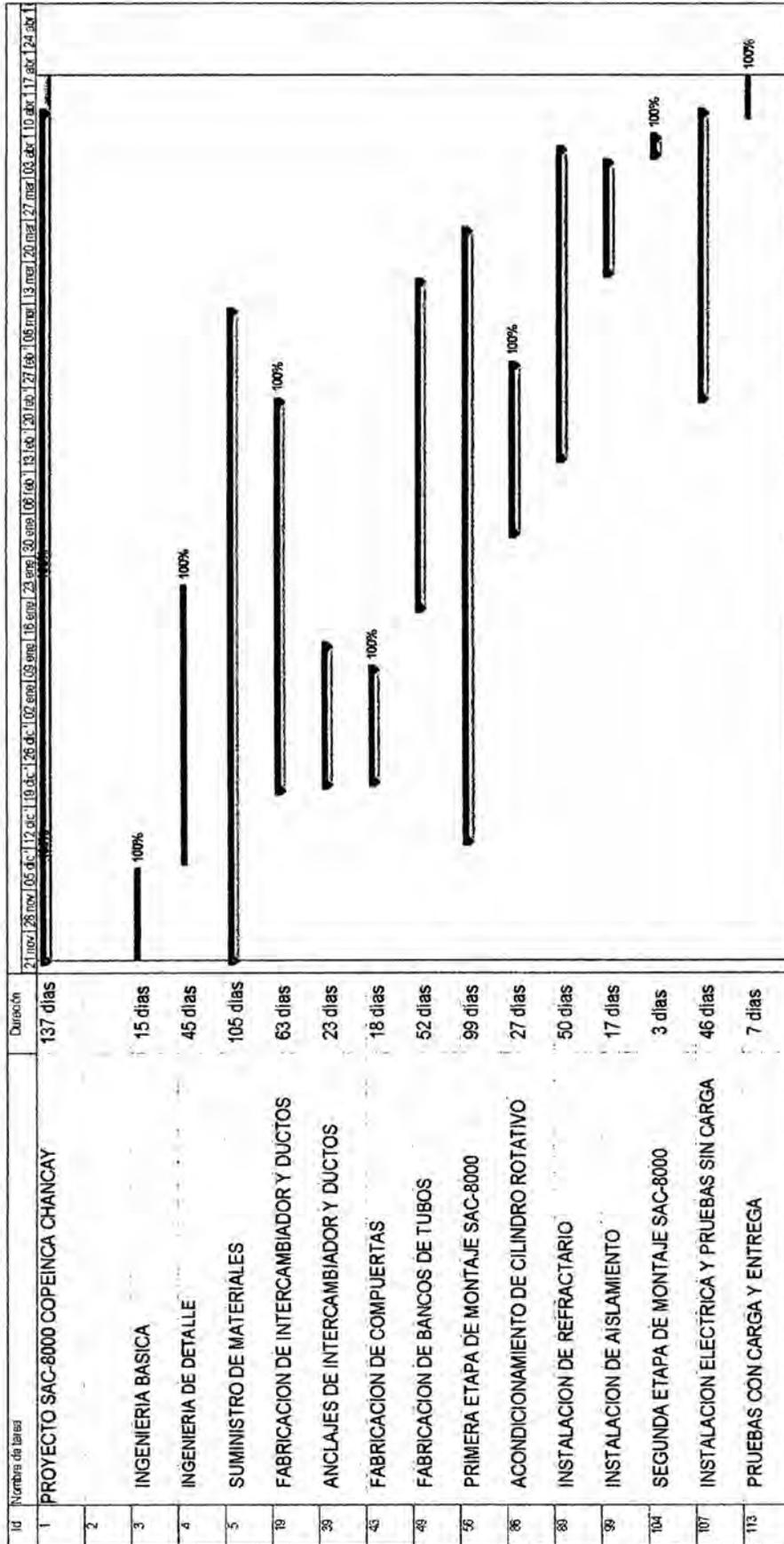
Pruebas, regulaciones y entrega

En esta etapa se verificaron las instalaciones. La regulación total no es posible realizarla sin carga, siendo necesarios los puntos:

- Verificaciones y pruebas de operación sin carga.
- Regulaciones y verificaciones finales con carga.

En la FIGURA 23, se muestra el cronograma resumido de la implementación del secador de aire caliente. El proyecto se inició el 23 de noviembre de 2010 y se cumplió con la entrega para la operación durante la primera temporada de pesca del año 2011.

**FIGURA 23. CRONOGRAMA DE IMPLEMENTACIÓN DE SECADOR INICIO
23 / 11 / 2010 - DURACIÓN 137 DÍAS**



Fuente: Elaboración propia

5.4.1 Determinación de la Capacidad de Evaporación del Secador

Para la determinación de la capacidad del secador de aire caliente, es necesario evaluar el requerimiento de evaporación de la planta en la etapa de secado final correspondiente.

Los datos necesarios para esta evaluación son tomados del balance de masas tal como el indicado en la FIGURA 24, donde se considera la composición general del producto, en contenido de sólidos, grasa y agua.

Los porcentajes indicados se basan en registros de análisis típicos en cada etapa del proceso de elaboración de harina y aceite de pescado, específicamente de anchoveta.

Los valores finales dependen de la calidad de la materia prima así como de las condiciones de operación de cada equipo.

Para obtener harina al 8% de humedad en la salida del tercer secador, con 23% de humedad en la entrada, procesando 168 TM/h de materia prima, se requiere evaporar 7657 kg/h de agua en el secador de aire caliente.

La capacidad de evaporación de agua finalmente asignada al proyecto es de 8000 kg/h. Por lo tanto; para 7657 kg/h de evaporación requerida, el secador operaría a:

$$\% \text{ Op.} = \frac{\text{ERA}}{\text{EVAP}} * 100\% = \frac{7657}{8000} * 100\% = 95.7\%$$

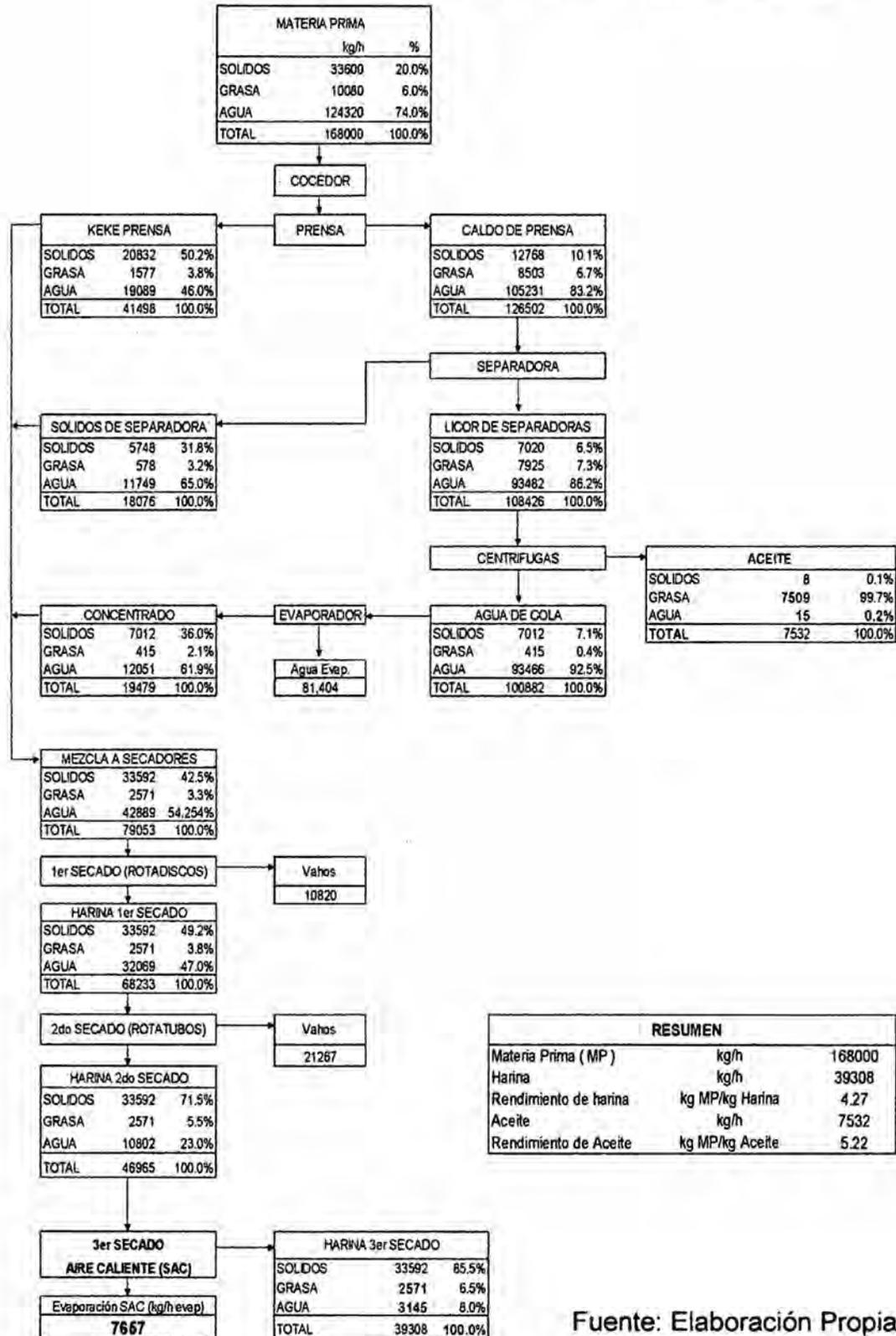
En la TABLA 2, se resume y considera lo indicado en el balance de masas de la FIGURA 24.

TABLA 2. REQUERIMIENTOS PARA SECADOR DE AIRE CALIENTE

Procesamiento de Materia Prima de la planta	MP	168 TM/h
Masa de harina al ingreso del secador	M1	46965 kg/h
Humedad de entrada en base húmeda	W1	23.0 %
Masa de harina a la salida del secador	M2	39308 kg/h
Humedad de salida en base húmeda	W2	8.0 %
Evaporación Requerida de Agua	ERA	7657 kg/h
Porcentaje de capacidad requerida	%Op.	95.7 %
Capacidad de Evaporación de Agua	EVAP	8000 kg/h

Fuente: Elaboración Propia.

FIGURA 24. BALANCE DE MASA EN PLANTA DE 168 TM/H
 TERCER SECADO: ENTRADA 23% - SALIDA 8%



Fuente: Elaboración Propia

5.4.2 Definición de la capacidad de los componentes del secador

En la FIGURA 25, se muestra el esquema de proceso para el secador de aire caliente.

Los componentes considerados en esta etapa son:

- Ventilador de aire de secado
- Ventilador de recirculación
- Generador de gases calientes
- Intercambiador de calor
- Cilindro secador
- Ciclón y Torre Lavadora

VENTILADOR DE AIRE DE SECADO

El ventilador usado en esta aplicación es del tipo centrífugo y de aletas rectas. Las partes en contacto con el aire de secado son construidas en acero inoxidable AISI 304. El bastidor, soportes y estructura son construidos en acero estructural ASTM A-36. El accionamiento del motor es indirecto, con transmisión por poleas y fajas. El motor eléctrico es del tipo asíncrono, totalmente cerrado con ventilación externa, de 1800 rpm.

La presión estática del ventilador de aire de secado es aproximadamente 60 mbar, requerida para cubrir la suma de pérdidas de presión de los ductos, cilindro secador, ciclón separador de finos, torre lavadora y bancos de tubos de intercambiador de calor.

Para especificar la capacidad del ventilador es necesario calcular el flujo volumétrico de aire correspondiente a la masa de aire en la salida del cilindro secador capaz de contener la humedad producto de la evaporación en el interior y el contenido de humedad del aire en el ingreso.

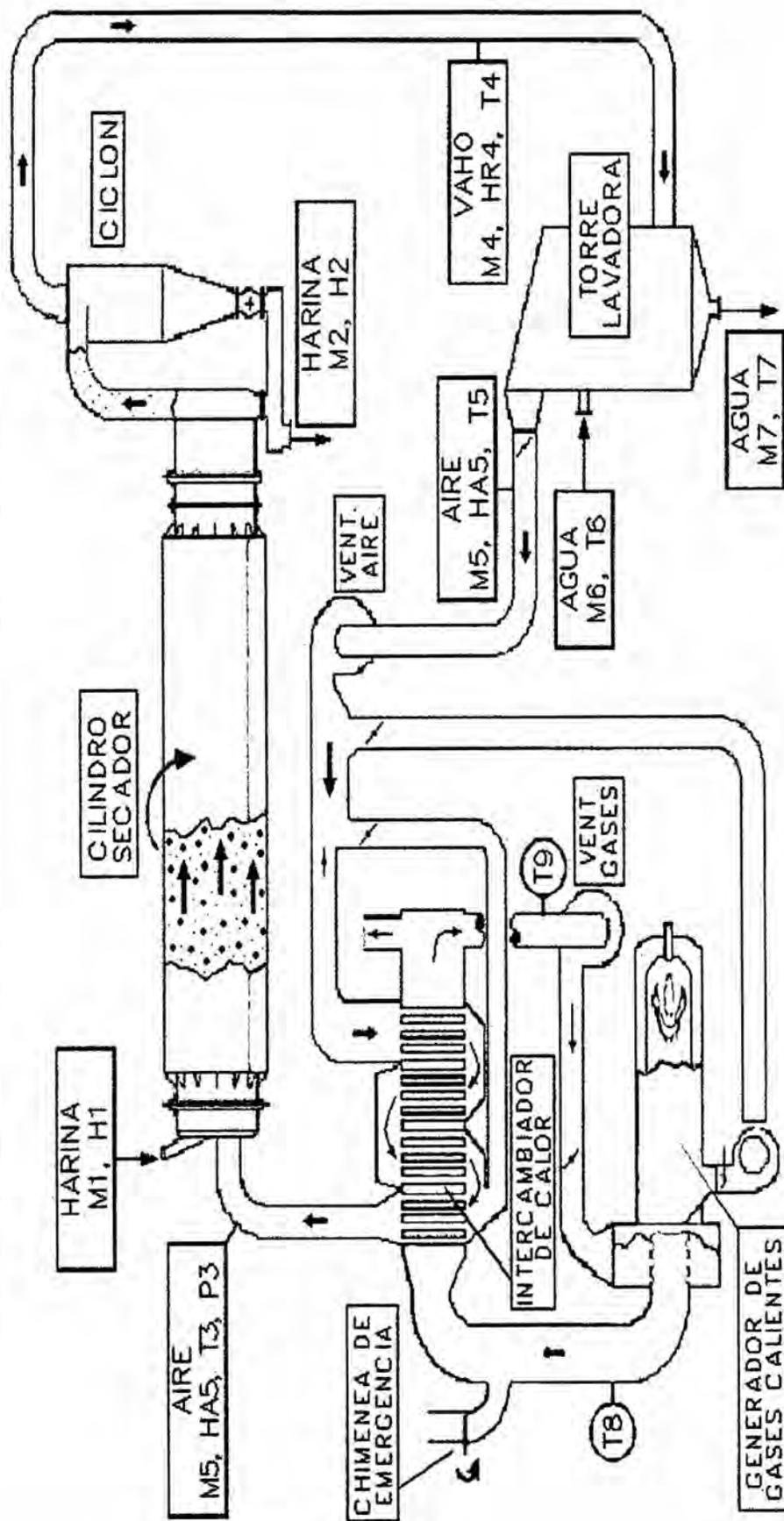
En las condiciones de salida del cilindro secador se deben observar particularmente la humedad relativa y la temperatura de bulbo seco de los vahos. La temperatura de bulbo seco considerada para el proyecto es 90 grados Celsius, para reducir las posibilidades de condensación en la zona de salida. La humedad relativa se recomienda mantenerla aproximadamente en 28 por ciento, con lo cual la temperatura de rocío será aproximadamente 60 grados Celsius.

En la TABLA 3, se muestran las propiedades psicrométricas de los vahos de salida del secador para las condiciones mencionadas.

Los vahos de salida del cilindro secador ingresan a la torre lavadora de gases con el fin de enfriarlos y condensar su contenido de vapor.

En la TABLA 4, se muestran las propiedades en la salida del lavador de vahos. Sólo ocurren cambios de temperatura y concentraciones de humedad relativa. Las condiciones de diseño para el aire en la salida de la torre lavadora son 30 grados Celsius y 100 por ciento de humedad relativa.

FIGURA 25. ESQUEMA DE PROCESO DEL SECADO POR AIRE CALIENTE



Fuente: Elaboración propia

TABLA 3. PROPIEDADES PSICROMÉTRICAS EN LA SALIDA DEL CILINDRO SECADOR

Temperatura de bulbo seco	T4	90 °C
Humedad Relativa	HR4	28 %
Humedad absoluta	HA4	0.1497 kg agua / kg aire seco
Volumen húmedo específico	v4	1.27625 m ³ / kg aire seco
Entalpía de la mezcla	H'4	489.7 kJ / kg
Presión de vapor	Pv4	19.651 kPa
Temperatura de bulbo húmedo	Tbh4	61.4 °C
Temperatura de rocío	Tr4	59.7 °C

Fuente: Elaboración propia.

TABLA 4. PROPIEDADES PSICROMÉTRICAS EN LA SALIDA DEL LAVADOR DE VAHOS

Temperatura de bulbo seco	T5	30 °C
Humedad Relativa	HR5	100 %
Humedad absoluta	HA5	0.0272 kg agua / kg aire seco
Volumen húmedo específico	v5	0.89629 m ³ / kg aire seco
Entalpía de la mezcla	H'5	99.7 kJ / kg
Presión de vapor	Pv5	4.247 kPa
Temperatura de bulbo húmedo	Tbh5	30 °C
Temperatura de rocío	Tr5	30 °C

Fuente: Elaboración propia.

Para el cálculo del flujo de masa de aire seco requerido, considerando la

capacidad de evaporación igual a 8000 kilogramos por hora y las humedades absolutas de las TABLAS 3 y 4, reemplazando en la Ec. (12), se tiene:

$$M_{AS5} = \frac{EVAP}{HA_4 - HA_5} = \frac{8000}{0.1497 - 0.0272} = 65306 \text{ kg/h}$$

En la TABLA 5, se resumen los datos para la selección del ventilador de aire de secado. Se incluyen los valores de densidad, flujo volumétrico y potencia de motor finalmente instalado.

TABLA 5. DATOS DE VENTILADOR DE AIRE DE SECADO

Temperatura de aire	T_5	30 °C
Humedad Relativa	HR_5	100 %
Masa de aire seco	M_{AS5}	65306 kg / h
Volumen húmedo específico	v_5	0.89629 m ³ / kg aire seco
Flujo Volumétrico de aire húm.	V_5	58533 m ³ / h
Masa de aire húmedo	M_5	67082 kg / h
Densidad de aire húmedo	ρ_5	1.146 kg / m ³
Presión estática requerida	PE_5	60 mbar
Diámetro del rodete		1800 mm
Potencia de motor		187 kW (250 HP)
Velocidad del ventilador		956 RPM

Fuente: Elaboración propia.

En las FIGURAS 26 y 27 se muestran los resultados de la selección y la curva del ventilador de aire de secado.

FIGURA 26. RESULTADOS DE SELECCIÓN DEL VENTILADOR DE AIRE DE SECADO



A Twin City Fan Company



5959 Tiverton Lane · Minneapolis, MN 55442-3238
 Phone: (63)551-7500 · Fax: (63)551-7501 · www.aerovent.com

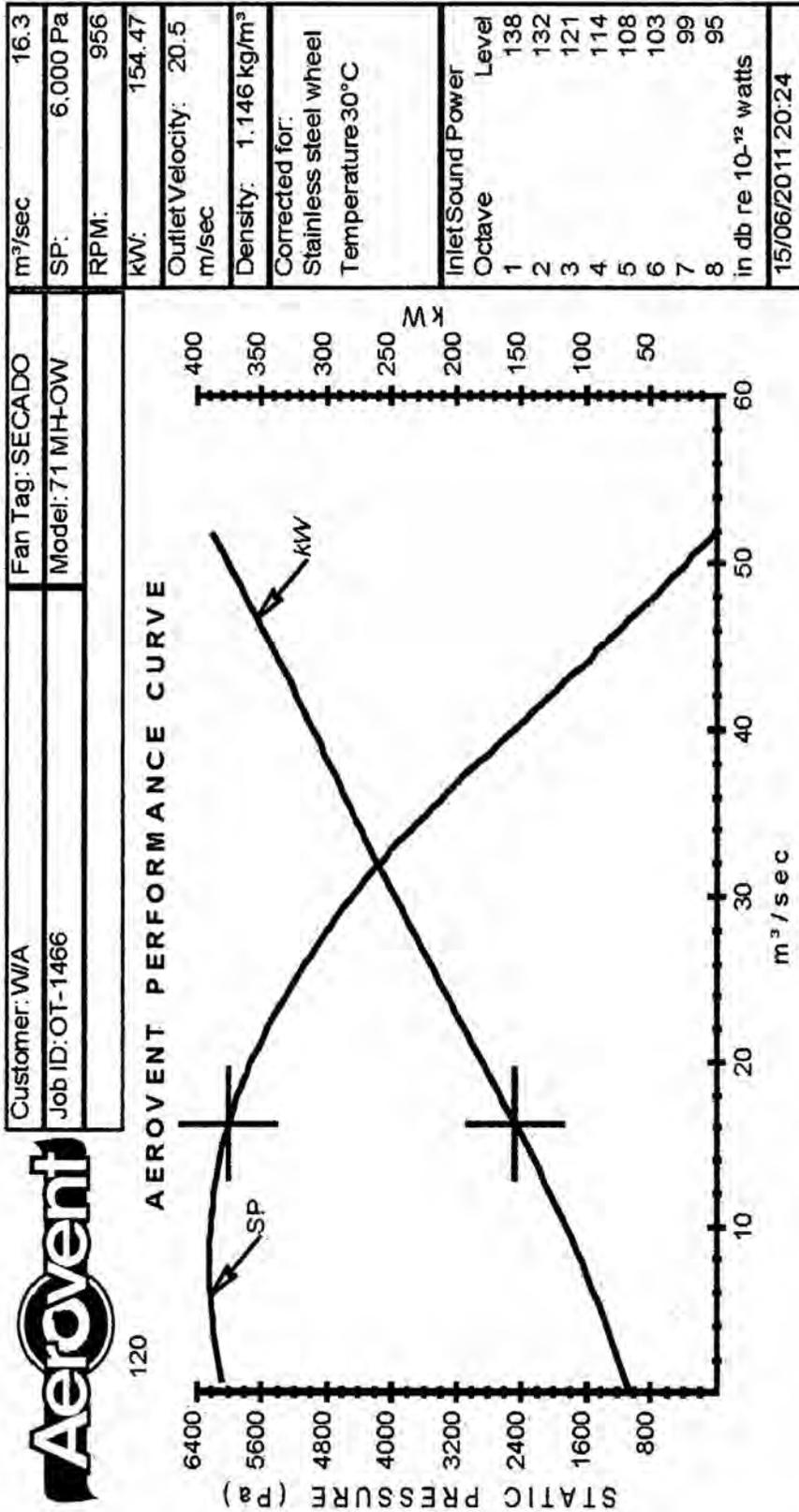
Customer: W/A
 Job Name: VENTILADOR DE AIRE DE SECADO
 Job ID: OT-1466

junio 15, 2011
 Page: 1

Fan Description		Fan Performance		Motor Data	
Tag	SECADO	m ³ /sec	16.3	HP (kW)	187
Quantity	1	Operating SP (Pa)	6,000	RPM	1800
Type	MH-OW	Standard SP (Pa)	6,290	Voltage	230 - 460V
Size	71	RPM	956	Hz	60
Width	SWSI	Tip Speed (m/sec)	90.1		
Arrangement	1	Oper. BHP (kW)	154		
Class	HD	Standard BHP (kW)	162		
Rotation	W/A	Outlet area (m ²)	0.792		
Discharge	W/A	Outlet Velocity (m/sec)	20.5		
Wheel diameter (m)	1.8	Temperature (°C)	30		
Drive method	60 Hz belt drive	Altitude (m)	0		
Percentage width	100%	Density (kg/m ³)	1.146		
Percentage diameter	100%	Max RPM for Class	1067		
		Static Efficiency	63.08		
		Mechanical Efficiency	65.62		

Fuente: Elaboración Propia con software Aerovent Selector Program V 7.5

FIGURA 27. CURVAS DE OPERACIÓN DEL VENTILADOR DE AIRE DE SECADO



Fuente: Elaboración propia con software Aerovent Selector Program V 7.5

VENTILADOR DE RECIRCULACIÓN DE GASES

El ventilador usado en esta aplicación es del tipo centrífugo y de aletas rectas. A diferencia del ventilador de aire de secado, es construido en acero estructural ASTM A-36.

El diseño considera una alta temperatura de operación, con disipación de calor en el eje y enfriamiento de chumacera. El accionamiento del motor es indirecto, con transmisión por poleas y fajas. El motor eléctrico es del tipo asíncrono, totalmente cerrado con ventilación externa, de 1800 rpm.

La presión estática para la selección del ventilador de recirculación es aproximadamente 35 mbar, requerida para cubrir la suma de pérdidas de presión de los ductos, compuerta, voluta y bancos de tubos de intercambiador de calor. En la TABLA 6, se resumen los datos.

TABLA 6. DATOS DE VENTILADOR DE RECIRCULACIÓN

Temperatura de gases	T_g	280 °C
Masa de gases recirculados	M_g	36250 kg/h
Densidad de gases	ρ_g	0.6455 kg / m ³
Flujo volumétrico	V_g	56160 m ³ / h
Presión estática requerida	P_{Eg}	35 mbar
Diámetro del rodete		1600 mm
Potencia de motor requerido		112 kW (150 HP)
Velocidad del ventilador		1113 RPM

Fuente: Elaboración propia.

FIGURA 28. RESULTADOS DE SELECCIÓN DEL VENTILADOR DE RECIRCULACIÓN



A Twin City Fan Company



5959 Trenton Lane • Minneapolis, MN 55442-3238
 Phone (763) 551-7500 • Fax (763) 551-7501 • www.aerovent.com

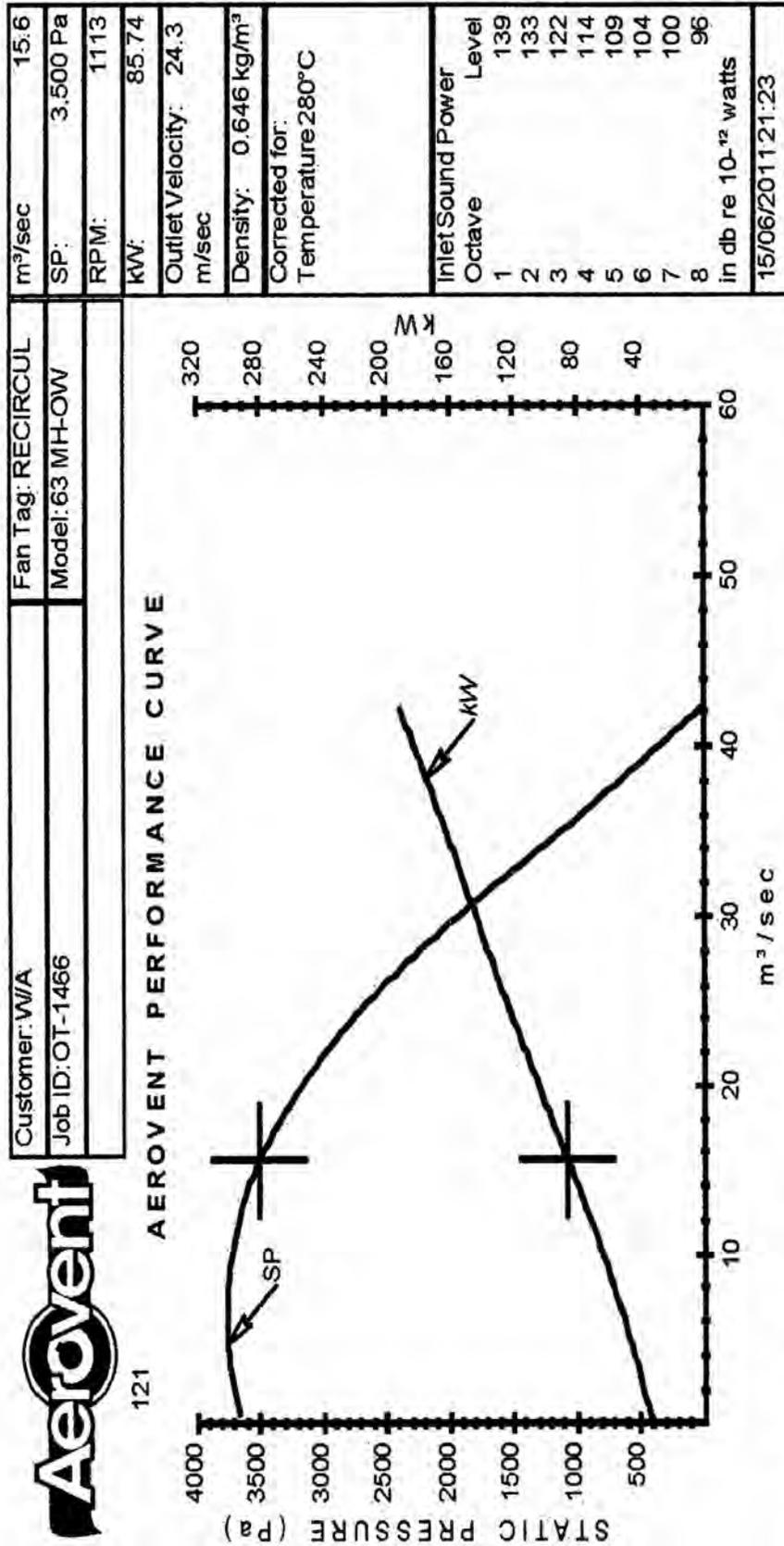
Customer: W/A
 Job Name: VENTILADOR DE RECIRCULACION
 Job ID: OT-1466

Junio 15, 2011
 Page: 1

Fan Description		Fan Performance		Motor Data	
Tag	RECIRCULACION	m ³ /sec	15.6	HP (kW)	112
Quantity	1	Operating SP (Pa)	3,500	RPM	1800
Type	MH-OW	Standard SP (Pa)	6,514	Voltage	230 - 460V
Size	63	RPM	1113	Hz	60
Width	SWSI	Tip Speed (m/sec)	93.2		
Arrangement	1	Oper. BHP (kW)	86		
Class	HD	Standard BHP (kW)	160		
Rotation	W/A	Outlet area (m ²)	0.642		
Discharge	W/A	Outlet Velocity (m/sec)	24.3		
Wheel diameter (m)	1.6	Temperature (°C)	280		
Drive method	60 Hz belt drive	Altitude (m)	0		
Percentage width	100%	Density (kg/m ³)	0.646		
Percentage diameter	100%	Max RPM for Class	1118		
		Static Efficiency	63.61		
		Mechanical Efficiency	67.07		

Fuente: Elaboración Propia con software Aerovent Selector Program V 7.5

FIGURA 29. CURVAS DE OPERACIÓN DEL VENTILADOR DE RECIRCULACIÓN



Fuente: Elaboración Propia con software Aerovent Selector Program V 7.5

GENERADOR DE GASES CALIENTES

La cámara del generador de gases calientes ENERCOM GGC 13V6, donde se desarrolla la combustión, fue revestida interiormente con material refractario de alto contenido de alúmina.

El aire de combustión circula previamente por el espacio anular exterior a la cámara, precalentándose y produciendo el efecto de aislamiento.

Se permite el uso de gas natural así como combustibles livianos y pesados, como los residuales R6 y R500. Debido a la imposibilidad del suministro de gas natural, se implementó sólo el quemador de petróleo residual con atomización a vapor.

Para el uso de gas natural se deberá equipar la cámara con el quemador a gas, el tren de válvulas y elementos de seguridad, manteniendo los elementos de control ya instalados con los que se puede operar ambos tipos de combustible.

Los gases de la combustión producidos a alta temperatura, entre 1200 grados Celsius y 1300 grados Celsius, ingresan a la zona de dilución, compuesta por una voluta instalada sobre una sección cilíndrica perforada que permite distribuir uniformemente el ingreso de gases recirculados provenientes del intercambiador de calor a una temperatura entre 280 Celsius y 380 Celsius.

La mezcla o dilución de los gases recirculados con los productos de

combustión, en la corriente de flujo que se dirige hacia el ingreso al intercambiador de calor, acondiciona la temperatura necesaria para el calentamiento indirecto del aire de secado. Está limitada por la temperatura de 750 grados Celsius, máxima de operación para el material de los bancos de tubos.

El aire de combustión es suministrado por un ventilador centrífugo a una presión de 25 milibar y el flujo de aire a la cámara de combustión es regulado por una compuerta de doble hoja, ubicada en la descarga del ventilador, accionado por una palanca desde la leva de control.

El petróleo es calentado en el precalentador a vapor, regulado automáticamente. El valor de la temperatura de trabajo para el combustible residual 6 es de 110 a 120 grados Celsius.

En los productos de combustión, los niveles de CO₂ mayores al 9 por ciento representan una elevación de la temperatura de la llama, pudiendo originar la fundición del material refractario al exceder el límite de la temperatura máxima de operación.

En la TABLA 7, se resumen los datos generales del GGC-13V6, para la capacidad de evaporación en el secador de 8000 kilogramos por hora.

TABLA 7. RESUMEN DE DATOS DEL GENERADOR DE GASES CALIENTES ENERCOM GGC 13V6 PARA 8000 KG/H DE EVAPORACIÓN

Capacidad máxima	8 000000 Kcal/h
Consumo GN (LHV=8800 kcal/m ³)	763 m ³ / h
Consumo petróleo residual 6	680 kg / h
Temperatura zona de combustión	1200 °C - 1300 °C
Temperatura de recirculación	280 °C - 380 °C
Temperatura de mezcla de gases	500 °C - 740 °C
Presión de suministro de petróleo	2 bar
Temperatura de alimentación de petróleo	50 °C
Presión de vapor saturado	3 bar
Consumo de vapor saturado	150 kg/h
Ventilador de aire de combustión	60 HP
Porcentaje de CO ₂ en cámara de combustión	7 a 9 %

Fuente: Elaboración Propia.

INTERCAMBIADOR DE CALOR

El intercambiador de calor es del tipo gas - gas, de flujo transversal a contracorriente con cuatro pasos contruidos con hazes tubulares de acero inoxidable calidad AISI 321, ASTM A-249.

La estructura y carcaza del intercambiador está construida en acero ASTM A-36. Las paredes laterales internas de la carcaza que contiene los cuatro bancos de tubos están recubiertas con concreto refractario

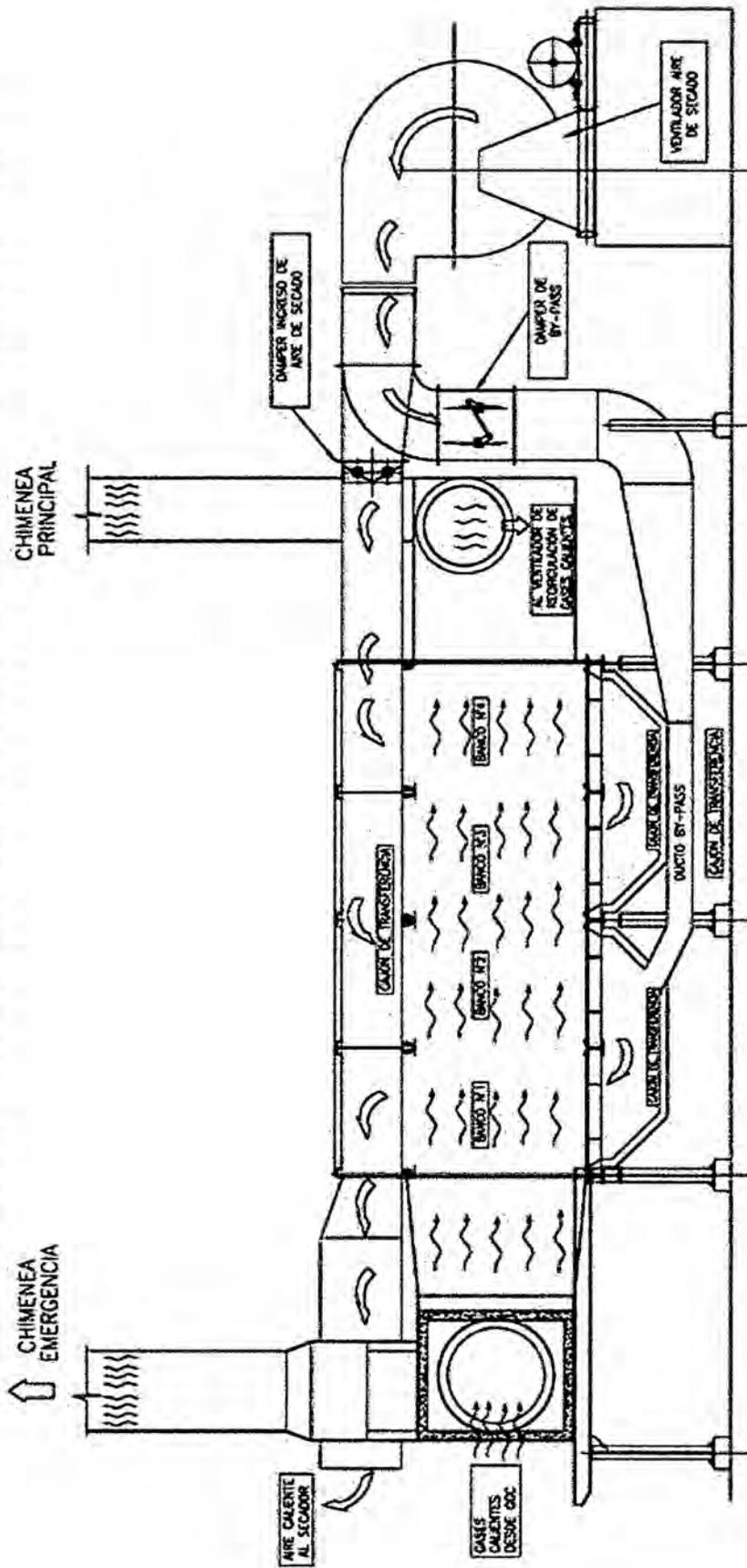
aislante, la caja de salida de los gases está aislada con lana mineral. Las tapas superiores son desmontables, para permitir retirar los bancos para mantenimiento. Los gases de combustión generados por la cámara de fuego y mezclados adecuadamente por los gases de dilución recirculados, son ingresados al interior del cuerpo del intercambiador para calentar el aire de secado. Parte de los gases de combustión se evacuan a la atmósfera a través del ducto de la chimenea principal y la otra parte es captado por el ventilador de recirculación de gases calientes, que los reingresa a la voluta de dilución a través del ducto de recirculación.

En la FIGURA 30, se muestra el esquema del intercambiador de calor y en la FIGURA 31, las dimensiones generales de un banco de tubos típico. Los gases calientes atraviesan horizontalmente el intercambiador, cubriendo el exterior de los tubos, mientras que el aire de secado circula verticalmente por el interior de los tubos a lo largo de los cuatro pasos y las dos cámaras de inversión en el fondo y la cima, hasta alcanzar la boca de descarga del intercambiador de calor, luego es canalizado mediante un ducto hacia el ingreso al secador.

El aire de secado es impulsado por el ventilador centrífugo hacia el intercambiador.

La regulación de la temperatura gobierna el accionamiento de la compuerta de ingreso y simultáneamente la compuerta del bypass. En la TABLA 8, se resumen los datos generales.

FIGURA 30. ESQUEMA DE CIRCULACIÓN DE FLUJOS EN INTERCAMBIADOR DE CALOR



SENTIDO DE FLUJO DEL AIRE DE SECADO.
 SENTIDO DE FLUJO DE LOS GASES CALIENTES.

Fuente: Enermin Perú S.A.

FIGURA 31. DIMENSIONES GENERALES DE UN BANCO DE TUBOS.
TOTAL CUATRO BANCOS

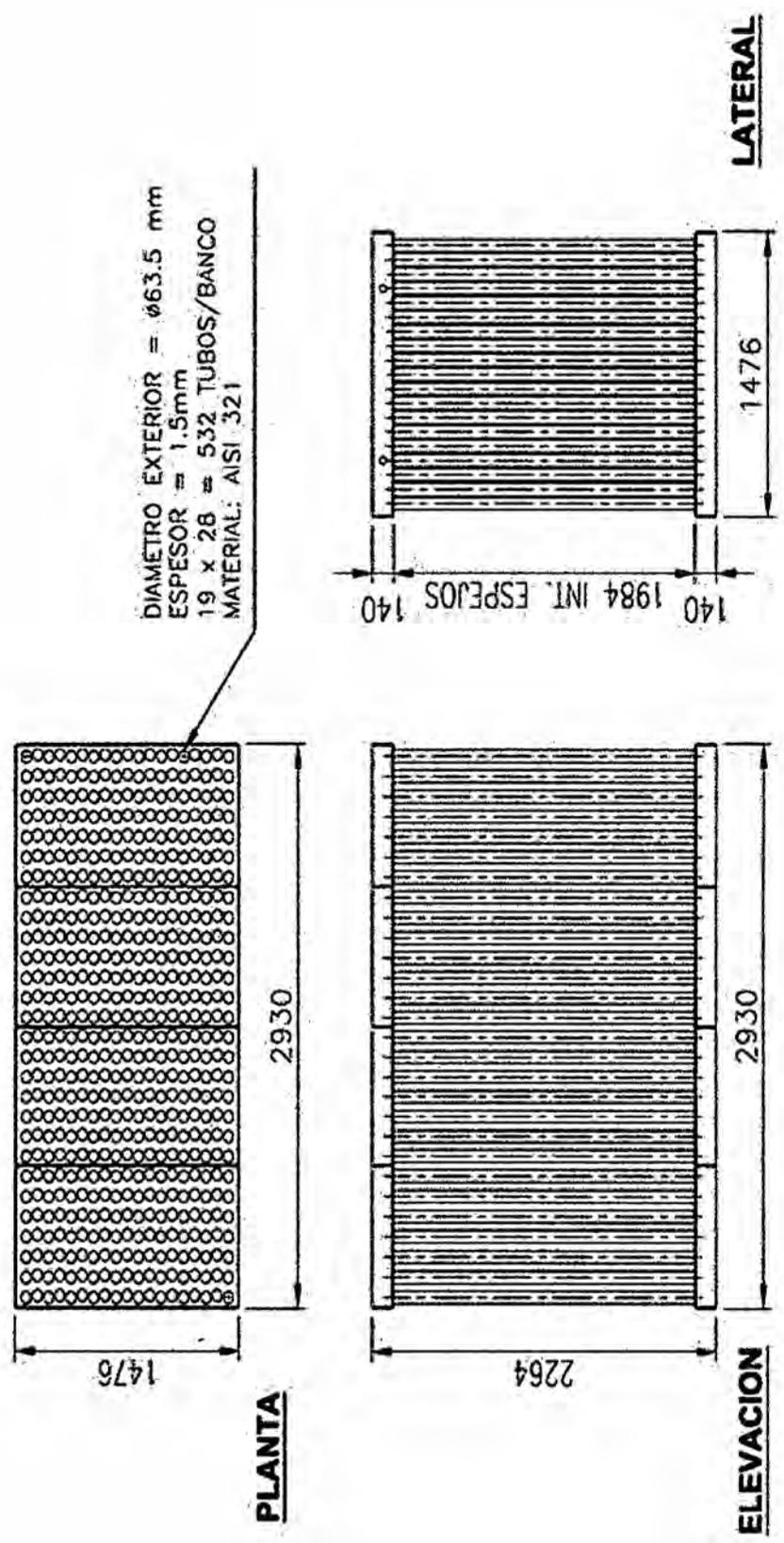


TABLA 8. INTERCAMBIADOR DE CALOR GAS - GAS

Capacidad máxima	8 000 000 Kcal/h
Tipo de flujo	Transversal a contracorriente
Número de pasos	4
Flujo interior	Aire de secado
Flujo externo	Gases recirculados
Superficie de calefacción	849 m ²
Diámetro exterior de tubos	63.5 mm
Espesor de tubos	1.5 mm
Longitud de tubos	2000 mm
Material de tubos	ASTM A-249/ AISI 321
Número total de tubos	2128
Temperatura de entrada de gases	500 °C - 740 °C
Temperatura de salida de gases	280 °C - 380 °C
Temperatura de ingreso de aire	20 °C - 40 °C
Temperatura de salida de aire	300 °C - 380 °C
Flujo de aire entrada a 30 °C/100%HR	67082 kg/h

Fuente: Elaboración Propia.

CILINDRO SECADOR

El cilindro secador es una unidad rotatoria cubierta internamente con juegos de paletas de levante con el objetivo de distribuir homogéneamente la "Carga" cubriendo toda la superficie interna del

cilindro, mediante la formación de una "Cortina" con el producto por acción de las paletas y la rotación del cilindro, permitiendo la máxima transferencia térmica del aire caliente al producto, durante el periodo de tiempo que están en contacto a lo largo del secador para originar la evaporación de la humedad contenida en el mismo, hasta llegar a los niveles de humedad requeridos mediante la regulación automática de la temperatura de los vahos de salida en la caja de humos del secador.

En la caja de humos están instalados en la parte superior 02 tapas para explosiones cuya finalidad es liberar la fuerza dinámica en caso de ocurrir la explosión por ignición de harina muy seca en el ingreso del secador por el cual es necesario llevar este control liberando los gases de la explosión al ambiente. Estas tapas siempre es necesario revisarlas que queden selladas en su posición normal de trabajo para evitar infiltraciones de aire que son perjudiciales para el buen funcionamiento del secador.

El equipo deberá estar equipado con una línea de vapor con descargas en el ingreso y salida del secador, para los eventuales requerimientos por situaciones de ignición de los finos o harina muy seca. La red de vapor deberá contar con la respectiva purga de fin de línea, con trampa de purga automática de condensado.

En la FIGURA 32, se muestra la vista de elevación del cilindro secador y en la TABLA 9, se resumen sus datos.

FIGURA 32. VISTA DE ELEVACIÓN DE CILINDRO SECADOR

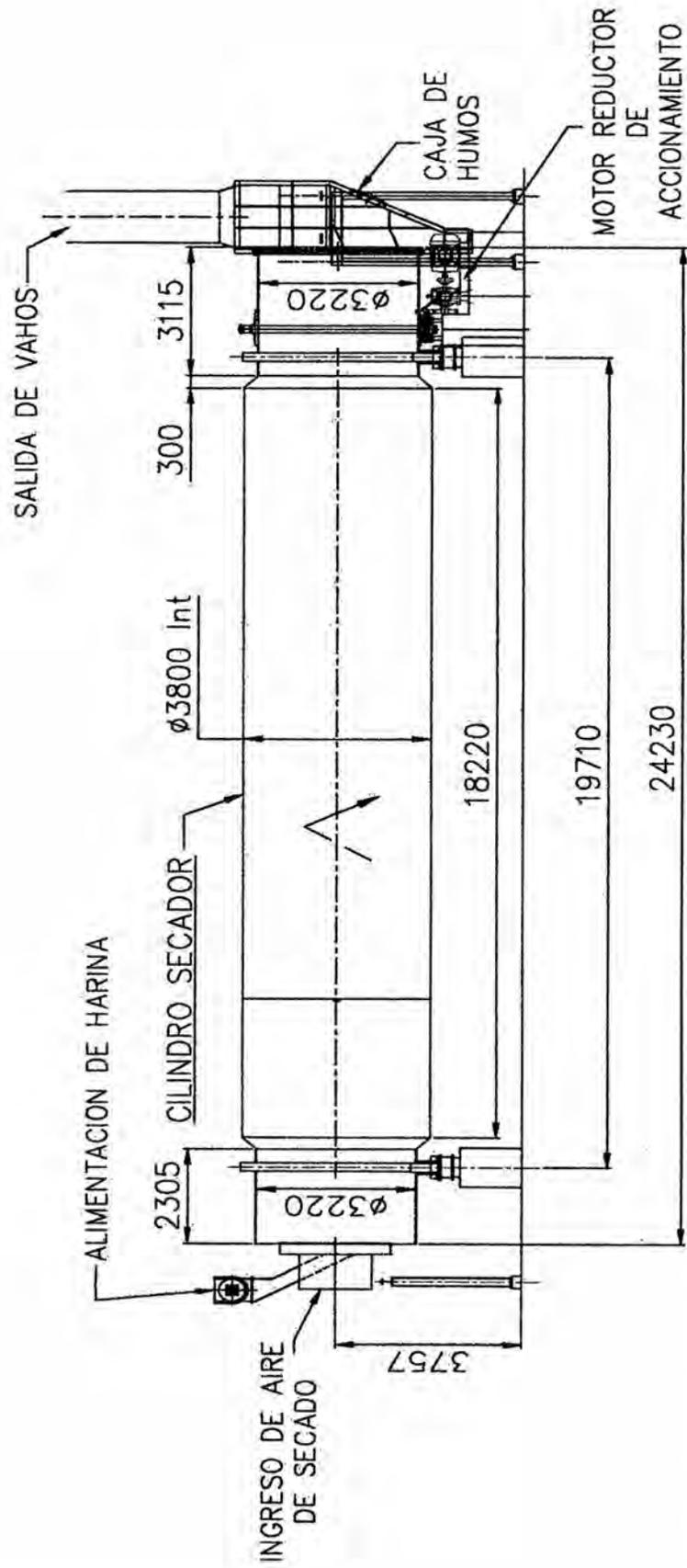


TABLA 9. CILINDRO SECADOR ROTATORIO

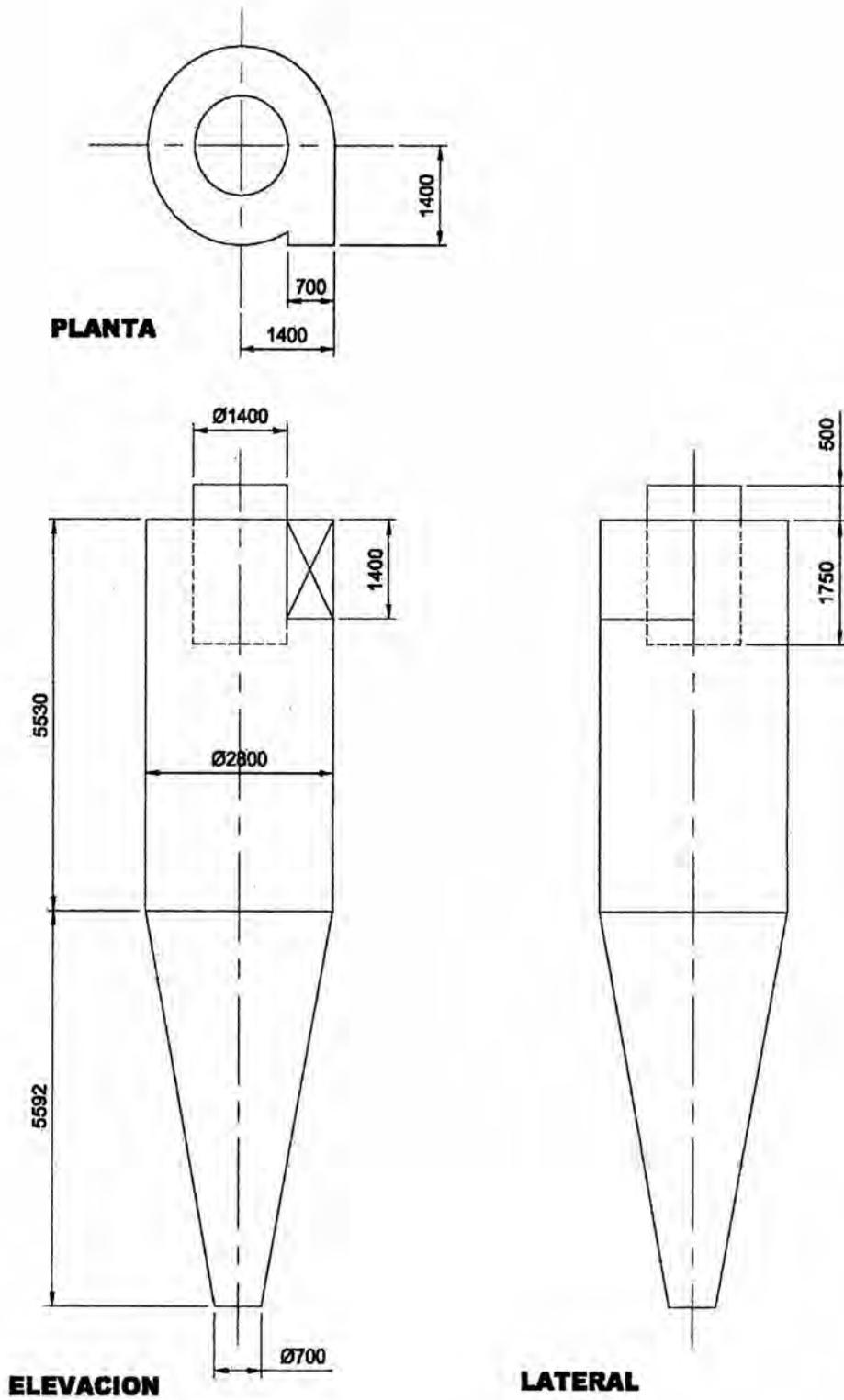
Evaporación de agua	8000 kg / h
Temperatura de ingreso de aire de secado	250 °C a 380 °C
Temperatura de salida de vahos @ 28% HR	90 °C
Flujo de aire seco	65306 kg / h
Diámetro de cuerpo principal	3800 mm
Diámetros de entrada y salida	3220 mm
Longitud de cuerpo principal	18820 mm
Longitud total	24230 mm
Distancia entre ejes de pistas rotatorias	19710 mm
Altura de eje sobre nivel de referencia	3757 mm
Material de cilindro rotatorio	ASTM A-36
Espesor cuerpo principal	16 mm
Espesor zona de transmisión	19 mm
Motor de accionamiento de transmisión	120 HP
Velocidad de rotación de cilindro	5.8 rpm

Fuente: Elaboración Propia

CICLÓN

La finalidad de su instalación es separar los finos con arrastrados por la corriente de salida de vahos. En la TABLA 10, se resumen los datos del ciclón instalado, recuperado de otra planta por el cliente. Las dimensiones se muestran en la FIGURA 33.

FIGURA 33. DIMENSIONES DEL CICLÓN SEPARADOR



Fuente: Enermin Perú S.A

TABLA 10. CICLÓN SEPARADOR DE FINOS

Material	AISI 304
Espesor	6 mm
Volumen húmedo específico a 90 °C y 28% HR	1.276 m ³ / kg aire seco
Flujo de vahos a 90 °C y 28% HR	83330 m ³ / h
Diámetro interior	2800 mm
Altura cilíndrica	5530 mm
Altura cónica	5592 mm
Ingreso rectangular	700 x 1400 mm
Diámetro de salida superior	1400 mm
Diámetro de salida inferior	700 mm

Fuente: Elaboración Propia

TORRE LAVADORA

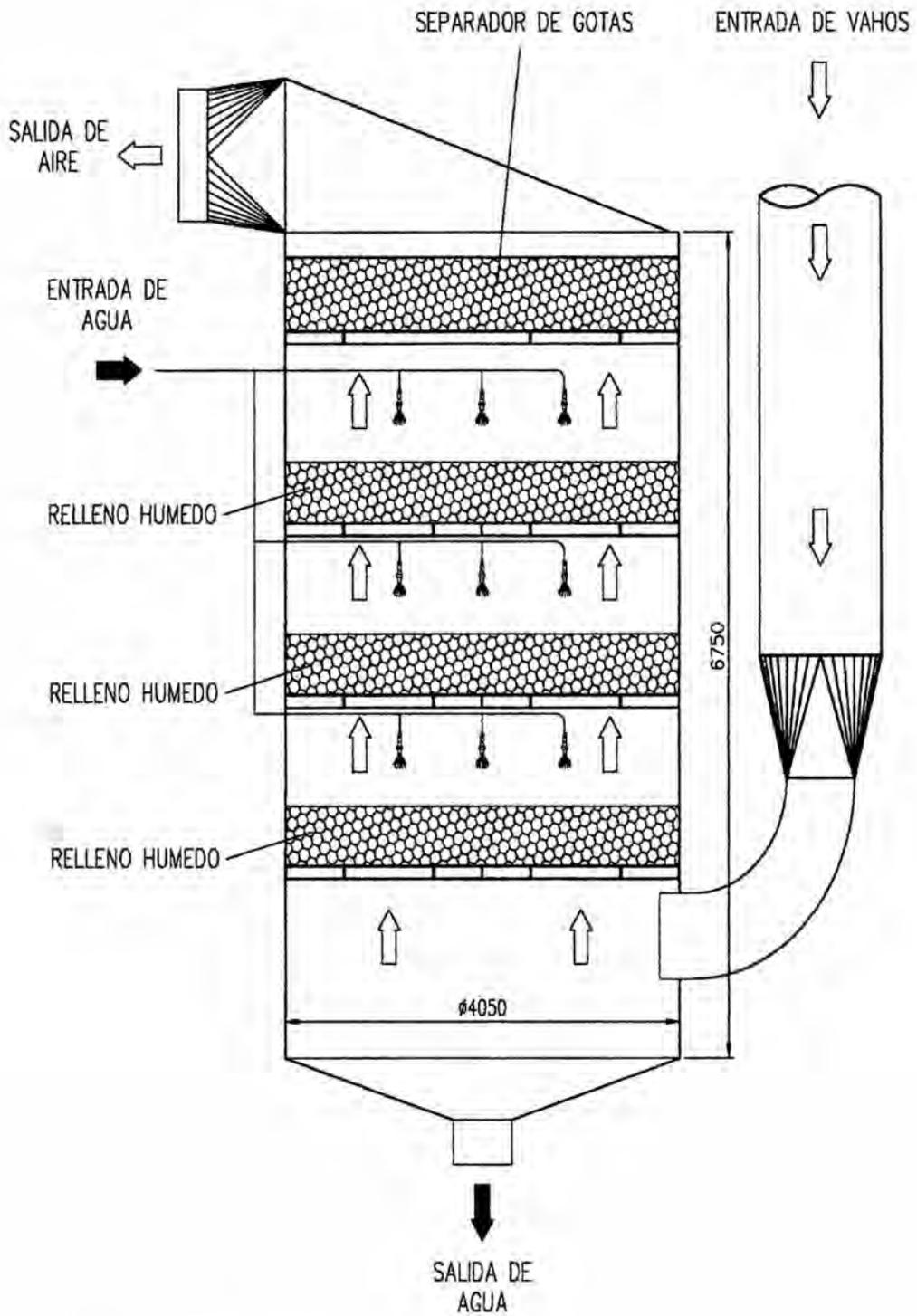
La torre lavadora enfría los vahos y condensa el vapor contenido, entregando aire a 30 grados Celsius y 100 por ciento de humedad relativa al ventilador de aire de secado. Se utiliza agua de mar a una temperatura promedio de 19 grados Celsius. El flujo se calcula para una temperatura de agua en la salida no mayor a 35 grados Celsius. La presión disponible en la entrada al lavador debe estar entre 2 y 2.5 bar, para la operación correcta de las boquillas. En la TABLA 11, se resumen los datos de la torre lavadora y en la FIGURA 34, se muestra el esquema de funcionamiento.

TABLA 11. RESUMEN DE DATOS DE TORRE LAVADORA DE VAHOS

Capacidad de condensación	8000 kg/h
Flujo volumétrico de vahos @ 90 °C y 28% HR	83330 m ³ / h
Flujo de aire de salida @ 30 °C y 100% HR	58533 m ³ / h
Consumo de agua de mar @ 19 °C y 2.5 bar	423 m ³ / h
Temperatura de salida de agua de mar	35 °C
Diámetro interior	4050 mm
Altura del cuerpo cilíndrico	6750 mm
Niveles de ingreso de agua	3
Material de cuerpo, e = 4 mm	AISI 304
Relleno húmedo, Tellerettes K	614 pies ³
Separador de gotas, Tellerettes R	236 pies ³

Fuente: Elaboración propia.

FIGURA 34. ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO DE TORRE LAVADORA DE VAHOS



Fuente: Enermin Perú S.A.

5.4.3 Definición de requerimientos de cargas y suministros

Luego de determinar las capacidades de los componentes del secador, se entregó al cliente la información resumida en la TABLA 12, con el fin de comunicarle las necesidades eléctricas, de agua, vapor y aire comprimido.

TABLA 12. REQUERIMIENTOS DE SUMINISTROS Y CARGAS

Capacidad de evaporación SAC	8000 kg/h
Sistema motriz de secador	120 HP / 440 V / 60 Hz
Ventilador de aire de secado	250 HP / 440 V / 60 Hz
Ventilador de recirculación	150 HP / 440 V / 60 Hz
Ventilador de combustión	60 HP / 440 V / 60 Hz
Ventilador de enfriamiento de chumacera	2 HP / 440 V / 60 Hz
Válvula rotativa	3 HP / 440 V / 60 Hz
Bomba dosificadora de petróleo	3 HP / 440 V / 60 Hz
Bomba 1 - petróleo desde tanque	5 HP / 440 V / 60 Hz
Bomba 2 - petróleo desde tanque	5 HP / 440 V / 60 Hz
Tablero de control	2 KW / 110 V / 60 Hz
Flujo de agua de mar @19 °C y 2.5 bar	423 m ³ /h
Consumo de vapor saturado @ 3 bar	150 kg/h
Consumo nominal de petróleo residual 6	680 kg/h
Suministro de aire comprimido seco	1.0 Nm ³ /min a 7 bar

Fuente: Elaboración propia.

5.4.4 Flowsheet del Sistema

El flowsheet o diagrama de flujo de procesos de la FIGURA 35, se utilizó para indicar los datos importantes necesarios para el control y desarrollo del proyecto.

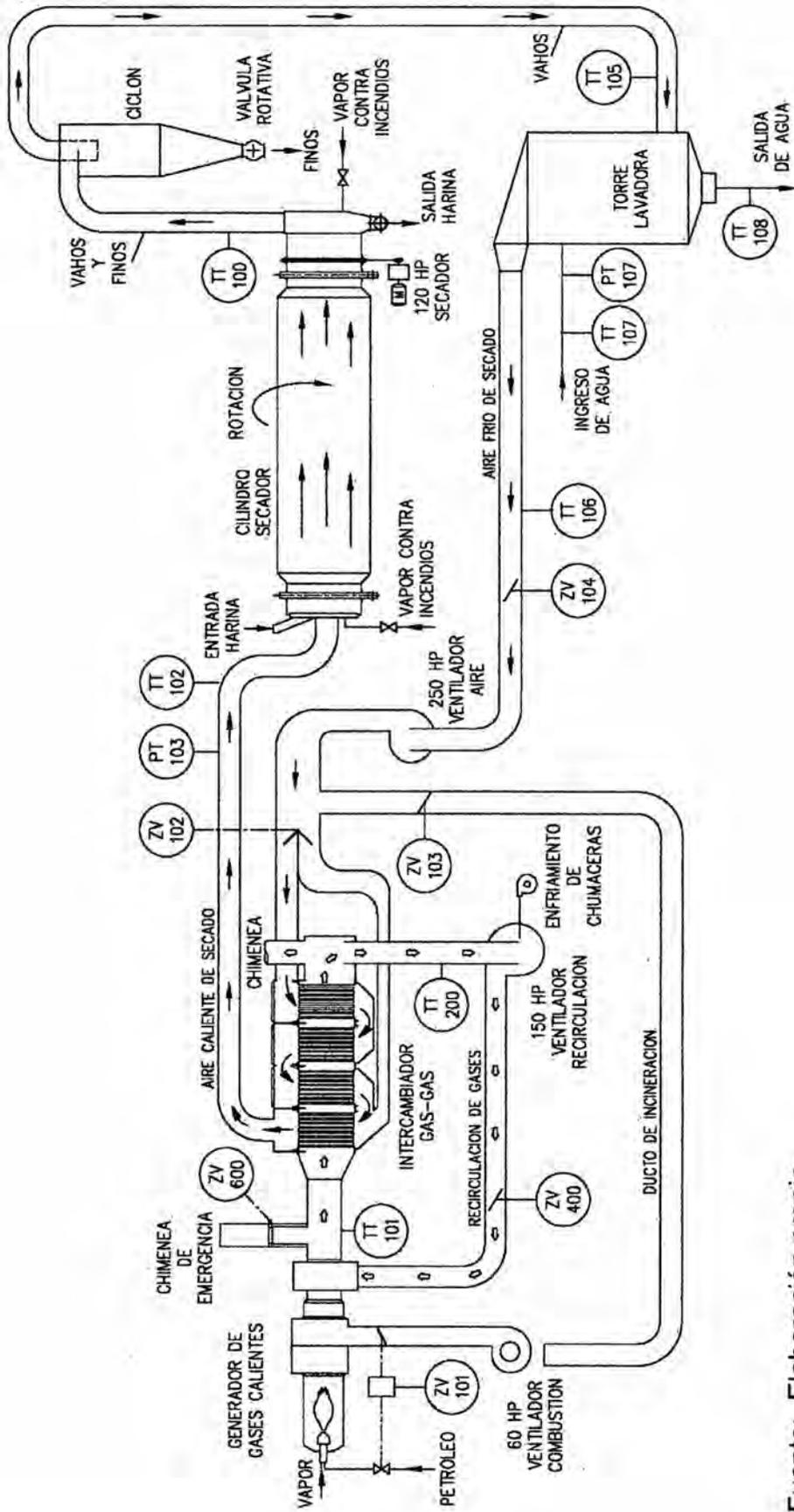
Se incluyó las indicaciones de acuerdo con las recomendaciones de las normas ISA, de los instrumentos que se instalarían, como transmisores de presión, transmisores de temperatura, actuadores y compuertas.

5.4.5 Layout de la Instalación

La disposición de los equipos el sistema secador de aire caliente se indicó en el plano layout para la aprobación del cliente. Esta etapa definió los diseños de las bases, ductos, estructuras y plataformas de operación.

Estos planos se componen de un plano de planta con las vistas y cortes necesarios. En los ANEXOS 4.1 a 4.5 del Apéndice de Anexos y Planos, se muestran las figuras correspondientes.

FIGURA 35. FLOWSHEET DE SISTEMA DE SECADO POR AIRE CALIENTE DE 8000 KG/H DE EVAPORACIÓN



Fuente: Elaboración propia.

5.4.6 Instrumentación y Control

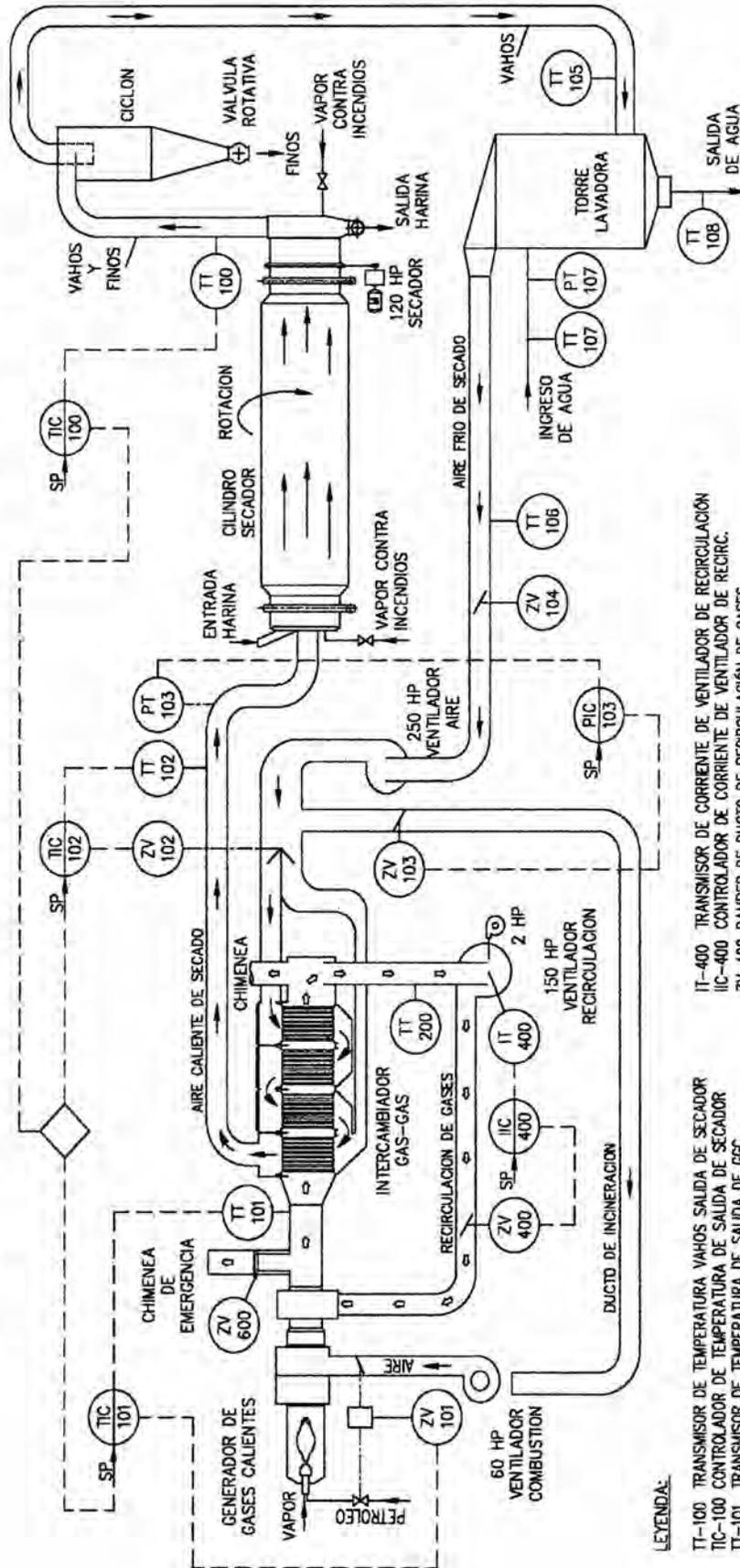
Con el fin de monitorear y controlar las variables de proceso, se instaló lo siguiente:

- Un tablero de control conteniendo un PLC Siemens S7-1200, con módulos de ampliación para entradas y salidas analógicas y discretas. Con un puerto de comunicación Ethernet, para retransmisión y supervisión remota de datos de proceso.
- Una pantalla táctil Siemens KTP-1000, para interfaz con el operador. Con pantallas múltiples para control, alarmas y configuración de parámetros.
- Transmisores para la temperatura de entrada y salida del secador, temperatura de salida de gases de la cámara de combustión, temperatura de recirculación de gases, presión de entrada de aire caliente, temperatura de petróleo, temperaturas de entrada y salida a la torre lavadora, corriente de motor de ventilador de recirculación.
- Actuadores con posicionadores para control de compuertas de entrada y bypass de intercambiador, ingreso a ventilador de aire de secado y control de combustión.
- Indicadores locales de presión y temperatura de combustible, presión de vapor, presión de aire comprimido, presión de agua de mar.

- Presostatos limitadores de presión de aire y vapor, para accionamiento de las alarmas.
- Un programador para control de seguridad de llama marca Honeywell modelo RM7840L, con fotocelda ultravioleta y amplificador.

La FIGURA 36 muestra el diagrama P&ID. En los ANEXOS 4.10 al 4.14 del Apéndice de Anexos y Planos se muestran algunas figuras e imágenes de las indicaciones gráficas de la pantalla de operación y la vista frontal del tablero de control.

FIGURA 36. DIAGRAMA DE INSTRUMENTACIÓN Y PROCESO P&ID DEL SAC-8000



LEYENDA:

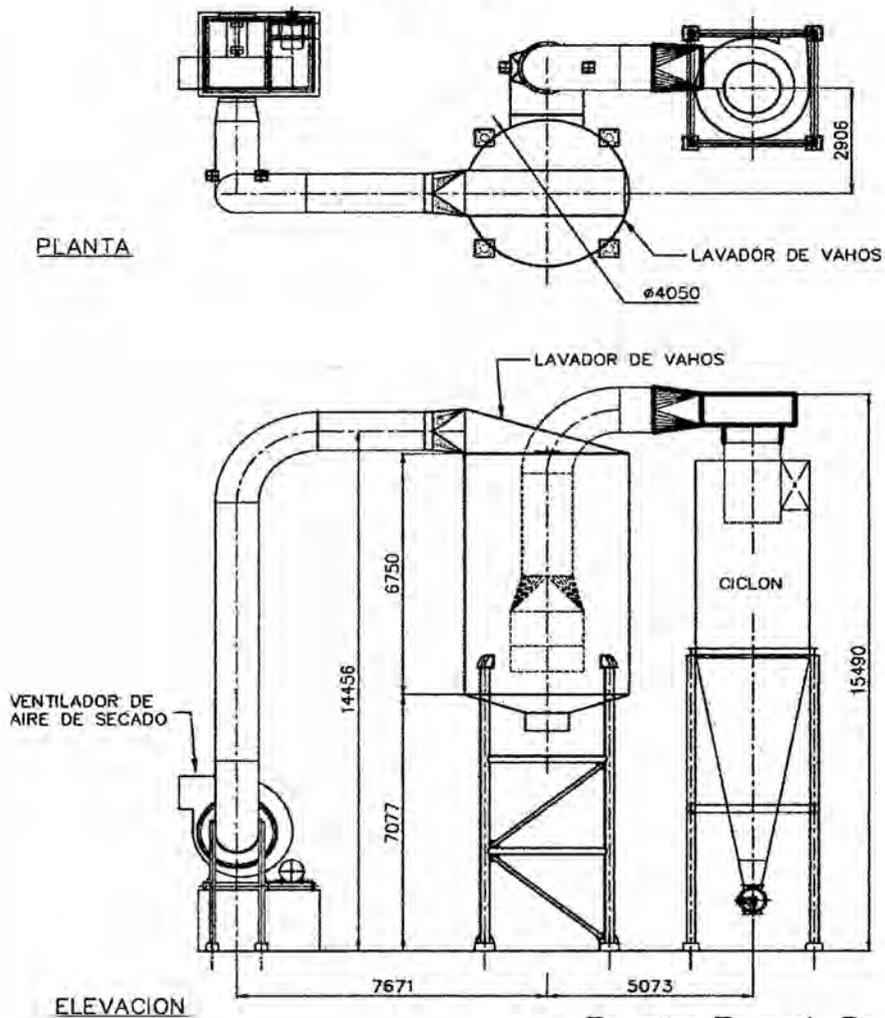
- TT-100 TRANSMISOR DE TEMPERATURA VAHOS SALIDA DE SECADOR
- TIC-100 CONTROLADOR DE TEMPERATURA DE SALIDA DE SECADOR
- TT-101 TRANSMISOR DE TEMPERATURA DE SALIDA DE GGC
- TIC-101 CONTROLADOR DE TEMPERATURA DE SALIDA DE GGC
- ZV-101 ACTUADOR DE CONTROL DE TEMPERATURA DE GGC
- TT-102 TRANSMISOR DE TEMPERATURA DE ENTRADA A SECADOR
- TIC-102 CONTROLADOR DE TEMPERATURA DE ENTRADA A SECADOR
- TT-102 DAMPER DE CONTROL DE TEMPERATURA DE SECADOR
- PT-103 TRANSMISOR DE PRESIÓN DE ENTRADA A SECADOR
- PIC-103 CONTROLADOR DE PRESIÓN DE ENTRADA A SECADOR
- ZV-103 DAMPER DE CONTROL DE PRESIÓN DE SECADOR
- TT-400 TRANSMISOR DE CORRIENTE DE VENTILADOR DE RECIRCULACIÓN
- IIC-400 CONTROLADOR DE CORRIENTE DE VENTILADOR DE RECIRC.
- ZV-400 DAMPER DE DUCTO DE RECIRCULACIÓN DE GASES
- TT-200 TRANSMISOR DE TEMPERATURA DE RECIRCULACIÓN
- ZV-600 DAMPER DE CHIMENEA DE EMERGENCIA
- ZV-104 DAMPER DE DUCTO DE AIRE
- TT-105 TRANSMISOR DE TEMPERATURA DE ENTRADA DE VAHOS A TORRE LAVADORA
- TT-106 TRANSMISOR DE TEMPERATURA DE SALIDA DE AIRE DE TORRE LAVADORA
- TT-107 TRANSMISOR DE TEMPERATURA DE ENTRADA DE AGUA A TORRE LAVADORA
- TT-108 TRANSMISOR DE TEMPERATURA DE ENTRADA DE AGUA A TORRE LAVADORA
- PT-107 TRANSMISOR DE PRESIÓN DE ENTRADA DE AGUA DE ENTRADA A TORRE LAVADORA

Fuente: Elaboración propia.

5.4.7 Detalles de la instalación y revisión de diseños

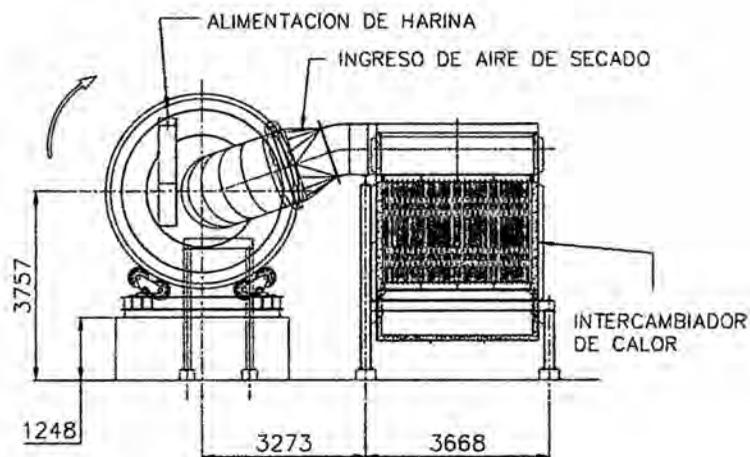
En esta etapa se revisaron las dimensiones de los equipos, verificando en el terreno las medidas de los ejes referenciales para los diseños de ductos, estructuras y plataformas. Las FIGURAS 37 a 39 muestran algunas dimensiones de montaje y en los ANEXOS 4.6 a 4.9 del Apéndice de Anexos y Planos se incluye más información.

FIGURA 37. DIMENSIONES GENERALES PARA INSTALACIÓN DE TORRE LAVADORA



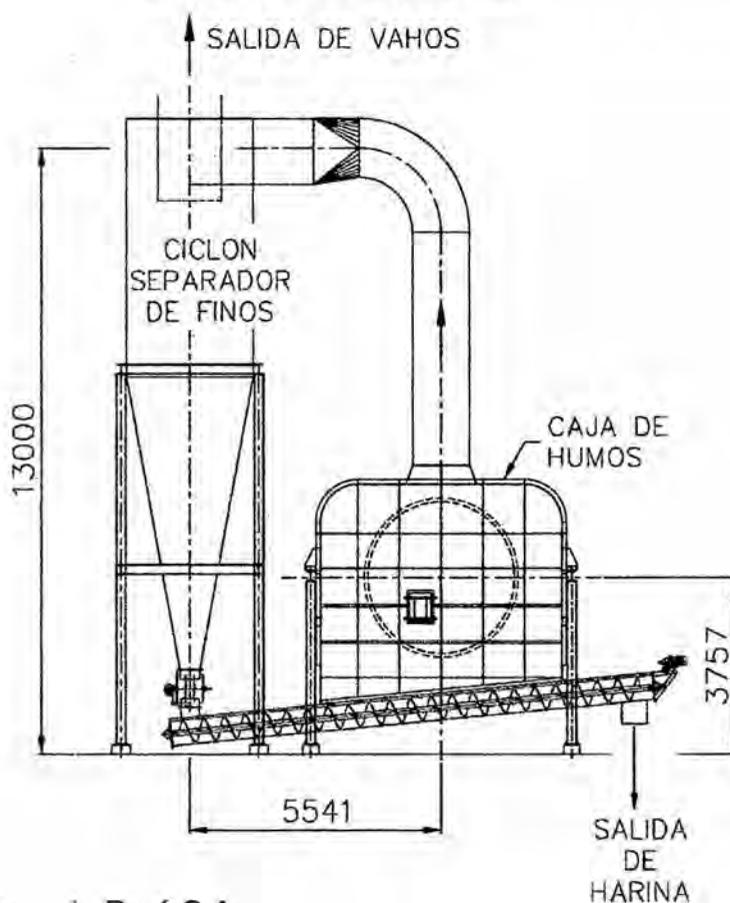
Fuente: Enermin Perú S.A.

FIGURA 38. DETALLE DE INSTALACIÓN EN ALIMENTACIÓN DE CILINDRO DE SECADO



Fuente: Enermin Perú S.A.

FIGURA 39. DETALLE DE INSTALACIÓN EN DESCARGA DE CILINDRO SECADOR



Fuente: Enermin Perú S.A.

5.4.8 Montaje e instalación de equipos

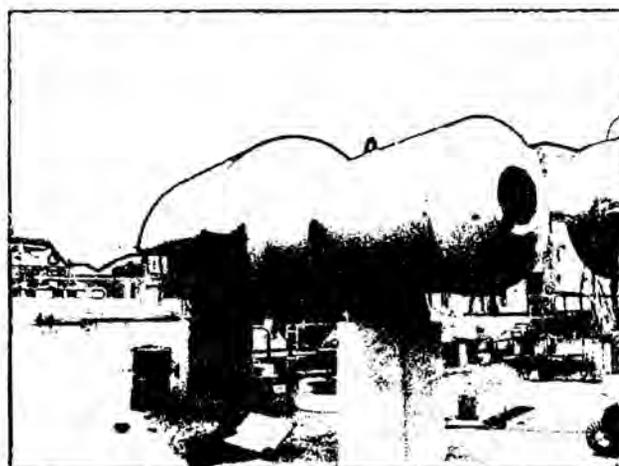
A continuación se muestran las FIGURAS 40 a 53, con las vistas de los avances sucesivos hasta el montaje e instalación total del sistema de secado.

FIGURA 40. BASES DE EQUIPOS CONSTRUIDAS POR EL CLIENTE



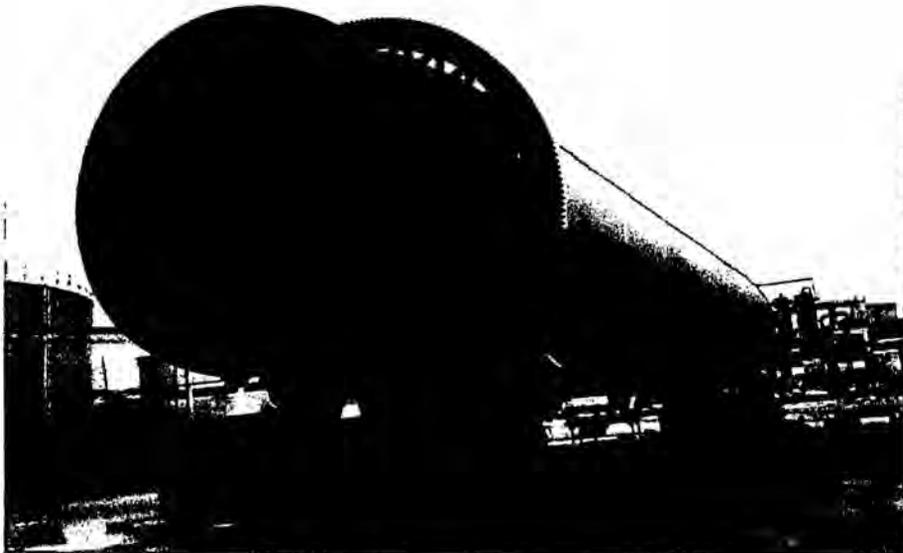
Fuente: Enermin Perú S.A.

FIGURA 41. GENERADOR DE GASES CALIENTES ANTES DEL ACONDICIONAMIENTO



Fuente: Enermin Perú S.A.

FIGURA 42. CILINDRO ROTATIVO MONTADO POR EL
CLIENTE SOBRE SUS BASES



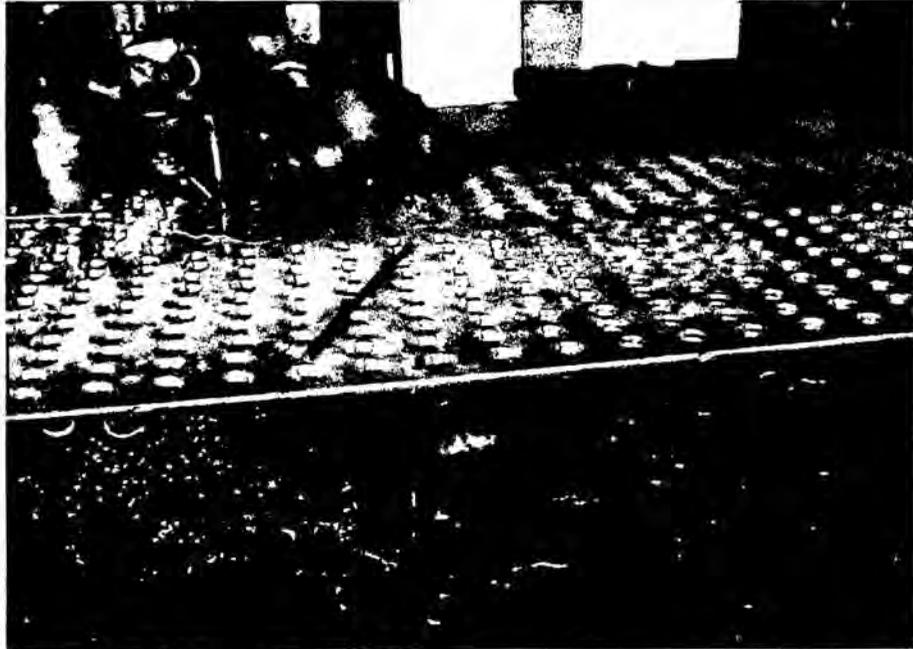
Fuente: Enermin Perú S.A.

FIGURA 43. CICLÓN SEPARADOR DE FINOS
SUMINISTRADO POR EL CLIENTE



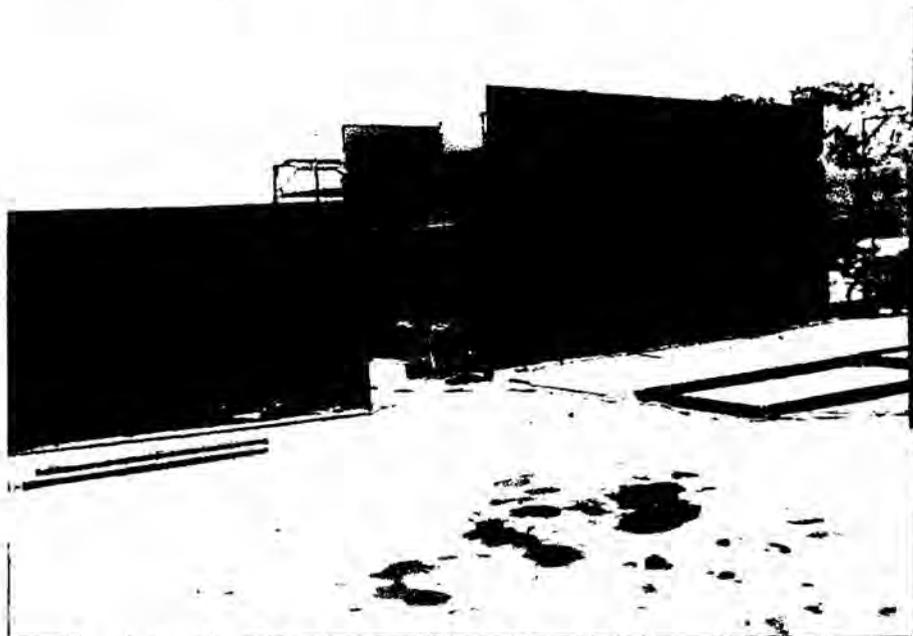
Fuente: Enermin Perú S.A.

FIGURA 44. FABRICACIÓN DE ESPEJOS DE BANCOS DE TUBOS DE INTERCAMBIADOR GAS - GAS



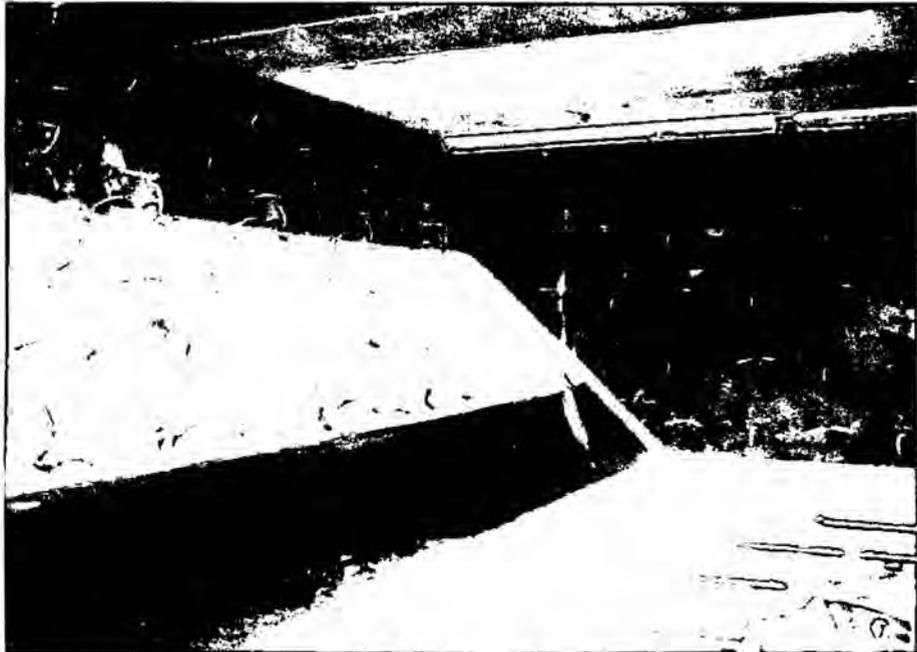
Fuente: Enermin Perú S.A.

FIGURA 45. FABRICACIÓN DE CARCAZA DE INTERCAMBIADOR GAS- GAS



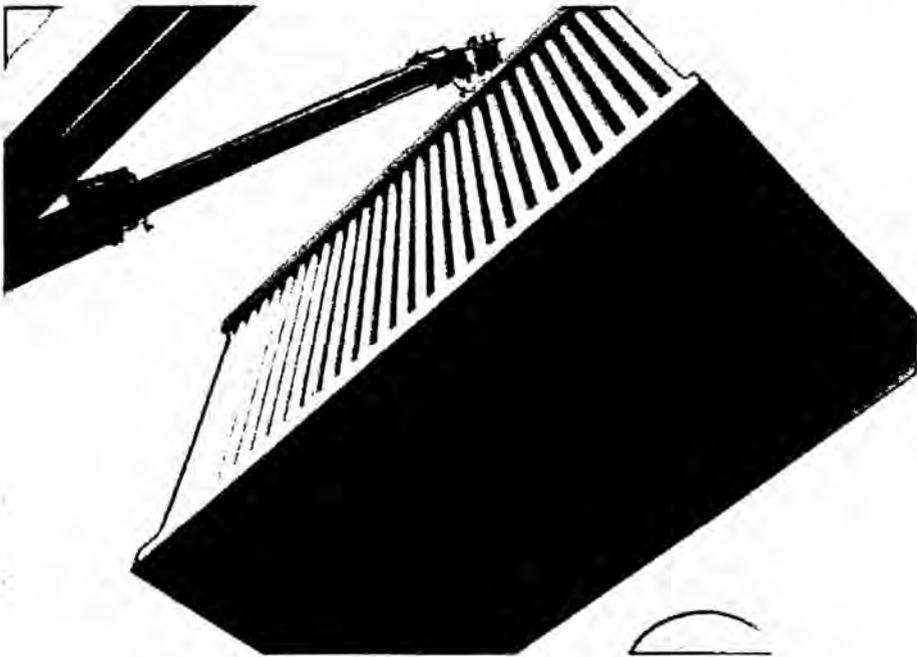
Fuente: Enermin Perú S.A.

FIGURA 46. ANCLAJES PARA INSTALACIÓN DE CONCRETO AISLANTE EN CARCAZA DE INTERCAMBIADOR



Fuente: Enermin Perú S.A.

FIGURA 47. BANCO DE TUBOS DE INTERCAMBIADOR GAS - GAS



Fuente: Enermin Perú S.A.

FIGURA 48. MONTAJE DE VENTILADOR DE RECIRCULACIÓN DE GASES



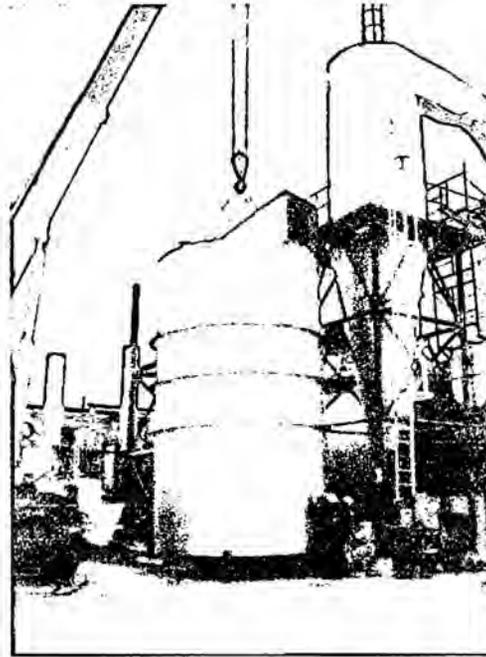
Fuente: Enermin Perú S.A.

FIGURA 49. MONTAJE DE DUCTO DE INGRESO DE AIRE CALIENTE A CILINDRO SECADOR



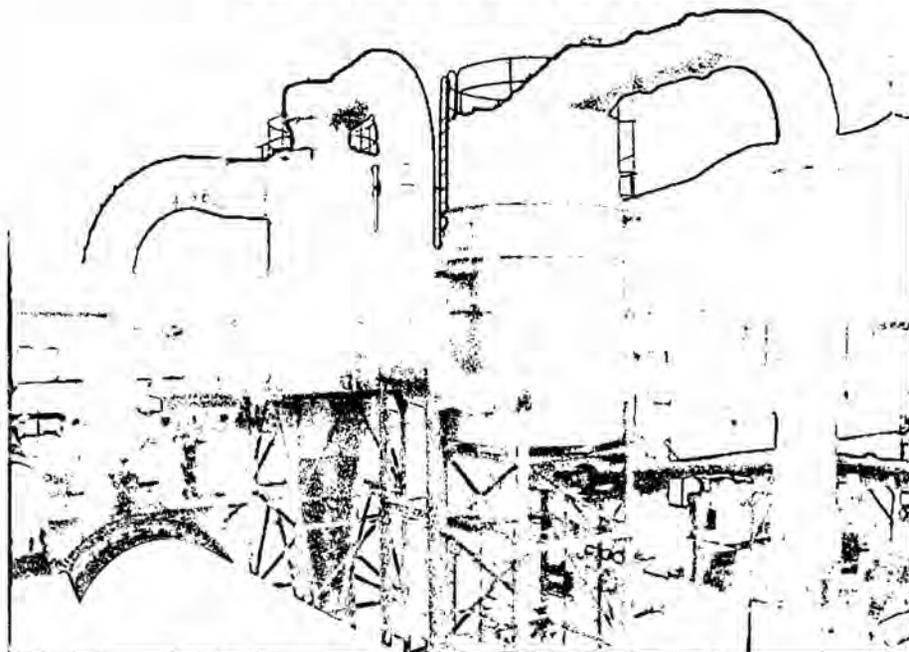
Fuente: Enermin Perú S.A.

FIGURA 50. MONTAJE SOBRE SUS BASES DE
TORRE LAVADORA



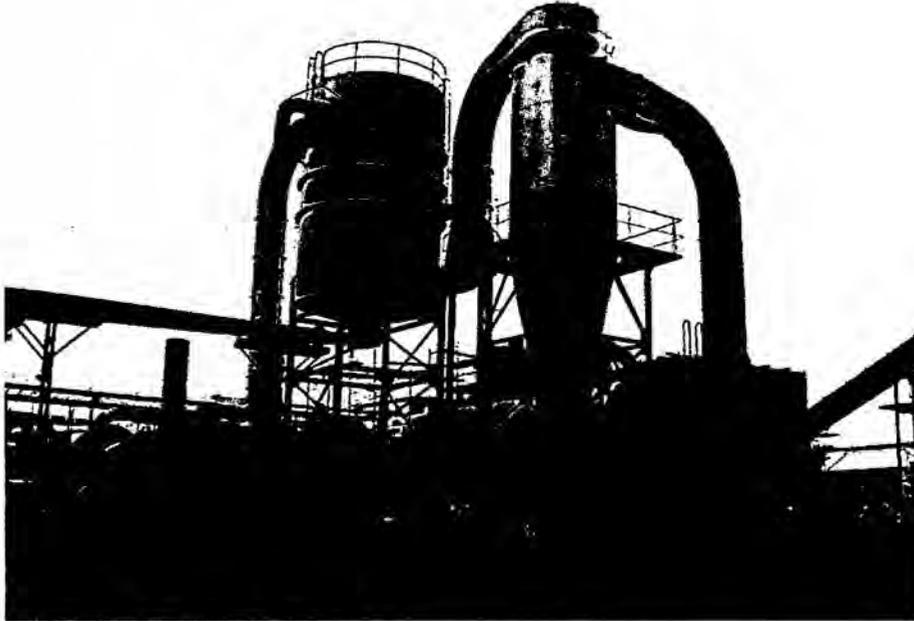
Fuente: Enermin Perú S.A.

FIGURA 51. DUCTOS DE INTERCONEXIÓN ENTRE
CILINDRO SECADOR, CICLÓN Y LAVADOR



Fuente: Enermin Perú S.A.

FIGURA 52. VISTA DE SECADOR SAC-8000 EN LA ZONA DE DESCARGA



Fuente: Enermin Perú S.A.

FIGURA 53. VISTA DE SECADOR SAC-8000 EN ZONA DE GENERACIÓN DE GASES CALIENTES



Fuente: Enermin Perú S.A.

5.4.9 Verificaciones y pruebas de operación sin carga

Las actividades programadas para esta etapa fueron:

- Verificación de niveles, alineamiento y pruebas de rotación de cilindro de secado.
- Verificación de sellos de las zonas rotatorias de entrada y salida del cilindro rotatorio.
- Verificación de consumo de corriente de sistema motriz del cilindro secador.
- Balanceo de ventiladores de aire de secado y de recirculación de gases.
- Verificación de rangos de medición de temperaturas y presiones.
- Calibración de actuadores de compuertas, para operación modulante de 0 a 100 por ciento.
- Verificación y pruebas del sistema con aire frío en los circuitos de recirculación de gases y de aire de secado.
- Verificación y pruebas con ingreso de agua a la torre lavadora.
- Verificación de ausencia de infiltraciones de aire por los sellos del cilindro rotatorio.
- El refractario de la cámara de combustión fue sometido a un calentamiento controlado para eliminar el contenido de agua, en

base a una curva recomendada por el proveedor. Se utilizó el plástico refractario Repsa Coralite con 80 por ciento de alúmina.

- Arranque de bomba de recirculación de petróleo, verificando previamente la operación normal del precalentador de salida del tanque de diario. La temperatura debe mantenerse entre 50 y 60 grados Celsius y la presión en 2 bar.
- Arranque de bomba dosificadora de petróleo al quemador. El petróleo impulsado por esta bomba circula a través del calentador de petróleo retornándolo hacia el tanque de diario.
- Verificar presión de vapor para atomización de petróleo.
- Pruebas de calentamiento inicial, con operación en mínimo por periodos cortos durante la primera operación luego del secado del refractario, durante una hora.
- Calentamiento gradual del sistema hasta alcanzar el valor límite de temperatura en la salida del cilindro secador, con ingreso normal de agua en la torre lavadora.
- Terminadas las pruebas sin carga, debe mantenerse en operación la alimentación de aire de combustión a la cámara para el enfriamiento gradual durante una hora.

Con las pruebas sin carga o en "vacío", sólo se consigue regular parcialmente el sistema debido a la imposibilidad de elevar la capacidad de generación de gases calientes sin peligro de dañar los equipos.

5.4.10 Regulaciones y verificaciones finales con carga

Esta fue la última etapa del proyecto, antes de la entrega, y necesariamente se tuvo que esperar hasta el inicio de la primera temporada de pesca del año 2011. Las actividades realizadas fueron las siguientes:

- Arranque y verificación de operación de cilindro secador
- Arranque y verificación de operación de ventilador de aire de secado.
- Arranque y verificación de operación de ventilador de recirculación de gases calientes.
- Arranque y verificación de operación de válvula rotaria en descarga de ciclón.
- Arranque y verificación de operación de transportadores de tornillo en alimentación y descarga de secador.
- Arranque y verificación de operación de ventilador de combustión.
- Arranque del sistema de combustión, verificando presiones y temperaturas requeridas
- Calentar por una hora en mínimo antes del ingreso de carga.
- Regular la combustión en todo el rango de operación, de acuerdo con la disponibilidad de carga húmeda.

Durante las regulaciones iniciales con carga, en algunas ocasiones se

produjeron deficiencias en el control de humedad de salida, generando reprocesos. Esta condición es asumida como parte del proceso inicial hasta la regulación final.

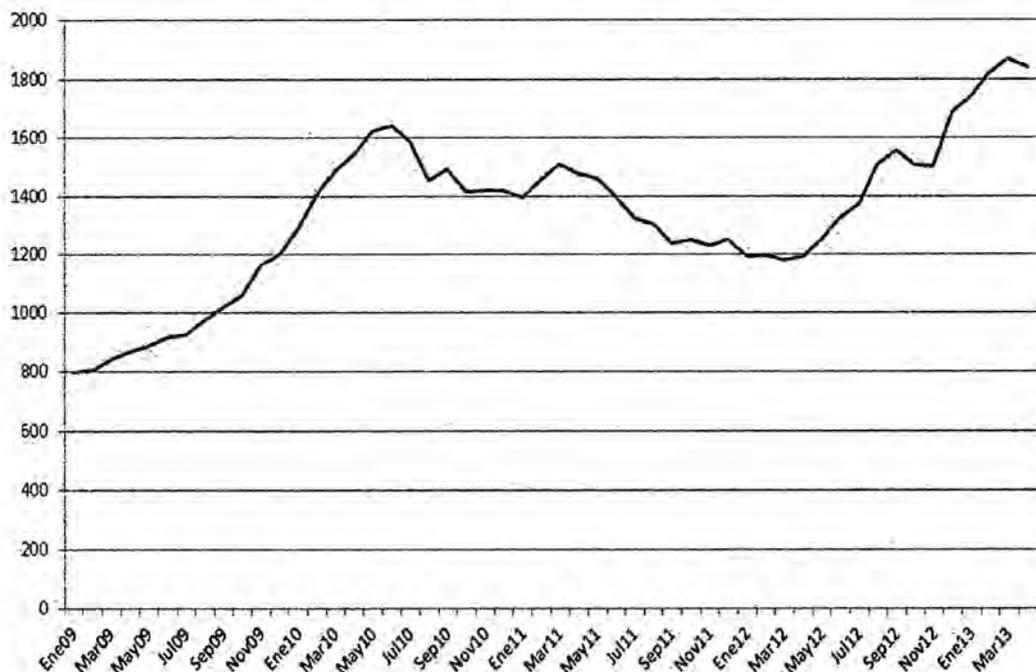
Luego de realizar la regulación de la combustión y la configuración de los parámetros de operación automática con el sistema de control instalado, el sistema quedó a disposición del cliente.

6. EVALUACIÓN TÉCNICO ECONÓMICA

El mercado exportador para harina de pescado principalmente consume harinas obtenidas por secado indirecto a vapor, cuyos precios promedio FOB Perú, se muestran en la FIGURA 54.

En los últimos años, debido a la mayor confiabilidad de las calidades ofrecidas y la mejora en las propiedades de digestibilidad de las proteínas se está imponiendo adicionalmente el consumo de la harina obtenida por presecado a vapor con secado final por aire caliente, considerándose para este caso un valor añadido al precio FOB de 20 dólares americanos por tonelada métrica de harina.

FIGURA 54. PRECIO FOB PERÚ DE LA HARINA DE PESCADO EN DÓLARES POR TONELADA



Fuente: Series estadísticas del Banco Central de Reserva del Perú

Este valor añadido al precio de la harina se utilizó para evaluar la rentabilidad del proyecto. Los demás datos de los cálculos mencionados son los siguientes:

- Inversión total inicial (I): Estimada considerando los costos del suministro del secador de aire caliente comprometido por el proveedor (Enermin Perú S.A.), así como los costos estimados de los equipos, obras civiles e instalaciones eléctricas necesarias suministradas por el cliente.

$$I = 1500000 \text{ dólares (1.5 millones de dólares)}$$

- Tiempo de vida útil del proyecto (t): t = 10 años
- Depreciación anual (D): Para una depreciación lineal en 10 años de vida útil se obtuvo

$$D = \frac{I}{10 \text{ años}} = \frac{1500000}{10} \text{ dólares/año}$$

$$D = 150000 \text{ dólares/año}$$

- Costo anual de operación y mantenimiento (M): Estimado sin incluir el consumo de combustible, que aproximadamente es el mismo entre los generadores de vapor y el generador de aire caliente.

$$M = 64000 \text{ dólares/año}$$

- Tasa de interés anual para el proyecto (i): La tasa de interés anual para el proyecto es 12 por ciento.

$$i = 12 \%$$

- Beneficio anual (B): De acuerdo a lo indicado respecto al valor añadido al precio de la harina de pescado, se tomó 20 dólares por tonelada como beneficio promedio. Para el cálculo se consideró:

Beneficio en el precio unitario (b): $b = 20$ US\$/TM de harina

Horas de producción diaria (h): $h = 24$ horas/día

Días de producción por mes (d): $d = 10$ días/mes

Meses de producción por año (m): $m = 4$ meses/año

Producción de harina de la planta (P): $P = 39.31$ TM/h

Con estos datos se determinó el beneficio anual:

$$B = P * h * d * m * b$$

$$B = 39.31 * 24 * 10 * 4 * 20 = 754752 \text{ dólares/año}$$

Para la evaluación de la rentabilidad del proyecto se desarrollaron los siguientes métodos:

- Tasa de retorno de la Inversión.
- Valor Actual Neto.
- Tasa Interna de Retorno.
- Tiempo de repago.

TASA DE RETORNO DE LA INVERSIÓN (i_R)

Es la relación porcentual entre el beneficio neto anual y la inversión total inicial, evaluado con la siguiente expresión:

$$i_R = \frac{B - M - D}{I} * 100 \% \quad \text{Ec. (22)}$$

Reemplazando datos: $i_R = \frac{754752 - 64000 - 150000}{1500000} * 100 \% = 36\%$

La tasa de retorno sobre la inversión inicial se estimó en 36 por ciento anual, siendo mayor que el 12 por ciento considerado.

VALOR ACTUAL NETO (VAN)

El valor actual neto del proyecto es igual a la diferencia entre el valor presente de los flujos anuales de fondos y la inversión inicial. La expresión usada fue la siguiente:

$$VAN = \frac{((1+i)^t - 1) * (B - M)}{i * (1+i)^t} - I \quad \text{Ec. (23)}$$

Reemplazando datos:

$$VAN = \frac{((1+0.12)^{10} - 1) * (754752 - 64000)}{0.12 * (1+0.12)^{10}} - 1500000$$

$$VAN = 2402903 \text{ dólares}$$

El valor actual neto estimado fue de 2.4 millones de dólares, positivo y totalmente aceptable.

TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)

La tasa interna de retorno es la máxima tasa de interés que podría pagarse para obtener el dinero necesario para financiar la inversión y tenerla totalmente pagada al final de la vida útil del proyecto. Equivale a obtener la tasa de interés requerida para un VAN igual a cero.

El proyecto se considera aceptable si la tasa interna de retorno es mayor que la tasa de interés del proyecto ($TIR > i$). La evaluación del TIR se realizó utilizando la siguiente expresión:

$$VAN=0 = \frac{((1+TIR)^t - 1) * (B - M)}{TIR * (1+TIR)^t} - I \quad \text{Ec. (24)}$$

$$VAN=0 = \frac{((1+TIR)^{10} - 1) * (754752 - 64000)}{TIR * (1+TIR)^{10}} - 1500000$$

El valor aproximado es: $TIR = 44.92$ por ciento

Se verificó la viabilidad del proyecto. Efectivamente la tasa interna de retorno fue mayor a la tasa de interés del proyecto, considerada en 12 por ciento.

TIEMPO DE REPAGO (n)

El tiempo de repago es una información suplementaria que indica el

número de años necesarios para recuperar su costo inicial con un retorno dado. Es aceptable si resulta menor que la mitad de la vida útil del proyecto.

El tiempo de repago se evaluó con la siguiente expresión:

$$n = \frac{I}{B - M} \quad \text{Ec. (25)}$$

Reemplazando datos:

$$n = \frac{1500000}{754752 - 64000} = 2.17 \text{ años}$$

Se comprobó como aceptable al ser menor que los cinco años considerados como la mitad de la vida útil del proyecto.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones

- Se implementó el secador de aire caliente de 8000 kg/h de evaporación para producir harina de calidad "prime" y "super prime", desde la primera temporada de pesca del año 2011. Ha operado en las dos temporadas del año 2012 y actualmente se continúa operando el sistema.
- El sistema de aire caliente reduce las variaciones de humedad final y minimiza los reprocesos. El proyecto desarrollado por el cliente para la ampliación y conversión de la planta incluyó una derivación para habilitar el secado indirecto sólo con los equipos calentados por vapor, rotadiscos y rotatubos, en caso de eventualidades con el sistema de aire caliente quedando éste fuera de servicio. Se hicieron las pruebas de operación sin aire caliente, comprobándose variaciones entre 4 y 12 por ciento; mayor que el rango obtenido con aire caliente entre 7 a 10 por ciento, en la humedad de salida ocasionando frecuentes reprocesos por producción de harina con humedades fuera de los valores requeridos.
- Se instaló el lavador de vahos con el fin de condensar los vapores del secador, cerrando el circuito de recirculación de aire de secado obteniendo un 100 por ciento de reducción de

emisiones de vapores y partículas al ambiente. Adicionalmente, en caso de excedentes de recirculación de aire, se ha instalado un ducto hacia la cámara de combustión para incinerarlos eliminando las emisiones directas al ambiente.

- Se instaló el sistema automático basado en el controlador lógico programable (PLC) Siemens S7-1200, con una pantalla táctil de interfaz para el operador y un programador Honeywell RM7840L como control de seguridad de llama. El sistema automático cuenta con un puerto Ethernet para la comunicación con la interfaz de operador y la retransmisión de los datos de proceso. Esta información quedó disponible para uso del cliente siendo necesario realizar por su parte la instalación del cableado correspondiente hasta su estación de supervisión.
- Con el sistema de secado instalado se consiguió producir harinas de mejor calidad y al mejor precio, estimándose un beneficio en el precio unitario de 20 dólares por tonelada métrica de harina con un período de recuperación de la inversión en aproximadamente dos años.

7.2 Recomendaciones

- Mantener en óptimo estado el sistema de alimentación de agua de mar. Existen limitaciones que impiden el funcionamiento del sistema, la más sensible es la ausencia de agua de mar en la

torre lavadora o el ensuciamiento de las boquillas de pulverización de agua. Al tratarse de un sistema cerrado de secado con recirculación de aire, las deficiencias en la alimentación de agua reducen la condensación y por lo tanto el sistema se saturaría de humedad sin conseguir la capacidad requerida.

- Reducir las infiltraciones de aire en la alimentación y descarga del cilindro secador, en los transportadores de alimentación y descarga de harina y en la válvula rotativa del ciclón separador de finos. El sistema de secado opera con presiones estáticas negativas que producen succión del ambiente por los sellos y tapas. Estas infiltraciones producen condensación en las zonas próximas, debido a la reducción de la temperatura de rocío del aire de salida, adhiriéndose los finos de harina que en varias horas de proceso producen contaminación por descomposición de la materia orgánica.
- Mantener una presión estática negativa en la entrada de aire caliente al secador para evitar fugas de finos de harina en el sello de esta zona. Esta condición se controla con la descarga del ducto de incineración.
- Mantener lo más constante posible las condiciones de entrada al secador para optimizar la operación y la humedad final.

8. BIBLIOGRAFÍA

- [01] Baumeister III T., Avallone E. y Sadegh A. MARKS' STANDARD HANDBOOK FOR MECHANICAL ENGINEERS. New York: Editorial McGraw-Hill, 11.ª edición, 2007.
- [02] Incropera F. y DeWitt, D. FUNDAMENTOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR. México: Editorial Prentice Hall, 4.ª edición, 1999.
- [03] Treybal, Robert. Operaciones de Transferencia de Masa. México: Editorial McGraw-Hill, 2.ª edición, 1980, 858 pp.
- [04] McCabe, Warren - Smith, Julian - Harriott, Peter. OPERACIONES UNITARIAS EN INGENIERÍA QUÍMICA. Madrid: Editorial McGraw-Hill Interamericana de España. 4.ª edición. 1991, 1112 pp.
- [05] Green D. y Perry R. PERRY'S CHEMICAL ENGINEERS' HANDBOOK. New York: Editorial McGraw-Hill, 8.ª edición, 2008.
- [06] www.scotiabank.com.pe/i_financiera/pdf/sectorial/20100418_sec_es_pesca.pdf.
- [07] Van Wylen, Gordon y Sonntag, Richard. FUNDAMENTOS DE TERMODINÁMICA. México: Editorial LIMUSA, 10.ª reimpresión, 1982, 734 pp.
- [08] Geankoplis, Christie. PROCESOS DE TRANSPORTE Y OPERACIONES UNITARIAS. México: Editorial CECSA, 3.ª edición, 1998, 1024 pp.

- [09] Baca Currea, Guillermo. INGENIERÍA ECONÓMICA. Bogotá: Fondo Educativo Panamericano, Editorial Educativa. 8.ª edición, 413 pp.
- [10] Blank, Leland y Tarquin, Anthony. Traducción: Arango, Gladys. INGENIERÍA ECONÓMICA. Colombia: Editorial McGraw-Hill Interamericana S.A., 4.ª edición, 2000, 740 pp.
- [11] Burton, D. Jeff. INDUSTRIAL VENTILATION WORKBOOK. Utah: Ive INC., 6.ª edición, 2005.
- [12] Nayyar, Mohinder. ASME Fellow Bechtel Power Corporation. PIPING HANDBOOK. New York: Editorial McGraw-Hill, 7.ª edición.
- [13] Parsons, Robert. 2001 ASHRAE Fundamentals Handbook (SI Edition). ATLANTA: ASHRAE, ISBN: 9781883413880, 2001
- [14] American National Standard. ANSI/ISA-S5.1-1984 (R1992), INSTRUMENTATION SYMBOLS AND IDENTIFICATION. Estados Unidos: ISA, R1992, 1992.
- [15] American Institute of Steel Construction Inc. STEEL CONSTRUCTION MANUAL. Estados Unidos. 13.ª edición, 2005.
- [16] Hayes, George. Traducción: Dr. Burgos Gonzáles, Justino. MANUAL DE DATOS PARA INGENIERÍA DE LOS ALIMENTOS. Zaragoza: Editorial Acribia S.A., 1.ª edición, 1992, 184 pp.
- [17] Consejo Nacional del Ambiente. Prácticas recomendadas para mejorar la eficiencia de los procesos en la industria de harina de pescado. Perú: CONAM, 1998.

9. APÉNDICE, ANEXOS Y PLANOS

ANEXO 1. PROPIEDADES DEL AIRE HÚMEDO A PRESIÓN ATMOSFÉRICA ESTÁNDAR, 101.325 kPa

Fuente: ASHRAE Fundamentals Handbook. 2001

Temp., °C	t	Humidity Ratio, kg(w)/kg(da)		Specific Volume, m ³ /kg (dry air)		Specific Enthalpy, kJ/kg (dry air)		Specific Entropy, kJ/(kg·K) (dry air)		Condensed Water				
		W _s	W _s	v _{da}	v _{as}	v _s	h _{da}	h _{sa}	h _s	s _{da}	s _{as}	s _s	h _{wp}	s _{wp}
0*	0.003789	0.7734	0.0047	0.7781	0.000	9.473	9.473	0.0000	0.0364	0.0364	0.06	-0.0001	0.6112	0
1	0.004076	0.7762	0.0051	0.7813	1.006	10.197	11.203	0.0037	0.0391	0.0427	4.28	0.0153	0.6571	1
2	0.004381	0.7791	0.0055	0.7845	2.012	10.970	12.982	0.0073	0.0419	0.0492	8.49	0.0306	0.7060	2
3	0.004707	0.7819	0.0059	0.7878	3.018	11.793	14.811	0.0110	0.0449	0.0559	12.70	0.0459	0.7581	3
4	0.005054	0.7848	0.0064	0.7911	4.024	12.672	16.696	0.0146	0.0480	0.0627	16.91	0.0611	0.8135	4
5	0.005424	0.7876	0.0068	0.7944	5.029	13.610	18.639	0.0182	0.0514	0.0697	21.12	0.0762	0.8725	5
6	0.005818	0.7904	0.0074	0.7978	6.036	14.608	20.644	0.0219	0.0550	0.0769	25.32	0.0913	0.9353	6
7	0.006237	0.7933	0.0079	0.8012	7.041	15.671	22.713	0.0255	0.0588	0.0843	29.52	0.1064	1.0020	7
8	0.006683	0.7961	0.0085	0.8046	8.047	16.805	24.852	0.0290	0.0628	0.0919	33.72	0.1213	1.0729	8
9	0.007157	0.7990	0.0092	0.8081	9.053	18.010	27.064	0.0326	0.0671	0.0997	37.92	0.1362	1.1481	9
10	0.007661	0.8018	0.0098	0.8116	10.059	19.293	29.352	0.0362	0.0717	0.1078	42.11	0.1511	1.2280	10
11	0.008197	0.8046	0.0106	0.8152	11.065	20.658	31.724	0.0397	0.0765	0.1162	46.31	0.1659	1.3128	11
12	0.008766	0.8075	0.0113	0.8188	12.071	22.108	34.179	0.0433	0.0816	0.1248	50.50	0.1806	1.4026	12
13	0.009370	0.8103	0.0122	0.8225	13.077	23.649	36.726	0.0468	0.0870	0.1337	54.69	0.1953	1.4979	13
14	0.010012	0.8132	0.0131	0.8262	14.084	25.286	39.370	0.0503	0.0927	0.1430	58.88	0.2099	1.5987	14
15	0.010692	0.8160	0.0140	0.8300	15.090	27.023	42.113	0.0538	0.0987	0.1525	63.07	0.2244	1.7055	15
16	0.011413	0.8188	0.0150	0.8338	16.096	28.867	44.963	0.0573	0.1051	0.1624	67.26	0.2389	1.8185	16
17	0.012178	0.8217	0.0160	0.8377	17.102	30.824	47.926	0.0607	0.1119	0.1726	71.44	0.2534	1.9380	17
18	0.012989	0.8245	0.0172	0.8417	18.108	32.900	51.008	0.0642	0.1190	0.1832	75.63	0.2678	2.0643	18
19	0.013848	0.8274	0.0184	0.8457	19.114	35.101	54.216	0.0677	0.1266	0.1942	79.81	0.2821	2.1979	19
20	0.014758	0.8302	0.0196	0.8498	20.121	37.434	57.555	0.0711	0.1346	0.2057	84.00	0.2965	2.3389	20
21	0.015721	0.8330	0.0210	0.8540	21.127	39.908	61.035	0.0745	0.1430	0.2175	88.18	0.3107	2.4878	21
22	0.016741	0.8359	0.0224	0.8583	22.133	42.527	64.660	0.0779	0.1519	0.2298	92.36	0.3249	2.6448	22
23	0.017821	0.8387	0.0240	0.8627	23.140	45.301	68.440	0.0813	0.1613	0.2426	96.55	0.3390	2.8105	23
24	0.018963	0.8416	0.0256	0.8671	24.146	48.239	72.385	0.0847	0.1712	0.2559	100.73	0.3531	2.9852	24
25	0.020170	0.8444	0.0273	0.8717	25.153	51.347	76.500	0.0881	0.1817	0.2698	104.91	0.3672	3.1693	25
26	0.021448	0.8472	0.0291	0.8764	26.159	54.658	80.798	0.0915	0.1927	0.2842	109.09	0.3812	3.3633	26
27	0.022798	0.8501	0.0311	0.8811	27.165	58.120	85.285	0.0948	0.2044	0.2992	113.27	0.3951	3.5674	27
28	0.024226	0.8529	0.0331	0.8860	28.172	61.804	89.976	0.0982	0.2166	0.3148	117.45	0.4090	3.7823	28
29	0.025735	0.8558	0.0353	0.8910	29.179	65.699	94.878	0.1015	0.2296	0.3311	121.63	0.4229	4.0084	29

* Extrapolado al representar equilibrio metaestable con líquido subenfriado

ANEXO 1. PROPIEDADES DEL AIRE HÚMEDO A PRESIÓN ATMOSFÉRICA ESTÁNDAR, 101.325 kPa

Fuente: ASHRAE Fundamentals Handbook. 2001 (Continuación)

Temp., °C	Humidity Ratio, kg(w)/kg(da)	Specific Volume, m ³ /kg (dry air)				Specific Enthalpy, kJ/kg (dry air)			Specific Entropy, kJ/(kg · K) (dry air)			Specific Enthalpy, Vapor Enthalpy, Entropy, Pressure, Temp., kJ/kg kJ/(kg·K) kPa °C		
		v_{da}	v_{av}	v_g	h_{da}	h_{as}	h_g	s_{da}	s_{as}	s_g	h_p	s_p	P_s	t
30	0.027329	0.8586	0.0376	0.8962	30.185	69.820	100.006	0.1048	0.2432	0.3481	125.81	0.4367	4.2462	30
31	0.029014	0.8614	0.0400	0.9015	31.192	74.177	105.369	0.1082	0.2576	0.3658	129.99	0.4505	4.4961	31
32	0.030793	0.8643	0.0426	0.9069	32.198	78.780	110.979	0.1115	0.2728	0.3842	134.17	0.4642	4.7586	32
33	0.032674	0.8671	0.0454	0.9125	33.205	83.652	116.857	0.1148	0.2887	0.4035	138.35	0.4779	5.0345	33
34	0.034660	0.8700	0.0483	0.9183	34.212	88.799	123.011	0.1180	0.3056	0.4236	142.53	0.4915	5.3242	34
35	0.036756	0.8728	0.0514	0.9242	35.219	94.236	129.455	0.1213	0.3233	0.4446	146.71	0.5051	5.6280	35
36	0.038971	0.8756	0.0546	0.9303	36.226	99.983	136.209	0.1246	0.3420	0.4666	150.89	0.5186	5.9468	36
37	0.041309	0.8785	0.0581	0.9366	37.233	106.058	143.290	0.1278	0.3617	0.4895	155.07	0.5321	6.2812	37
38	0.043778	0.8813	0.0618	0.9431	38.239	112.474	150.713	0.1311	0.3824	0.5135	159.25	0.5456	6.6315	38
39	0.046386	0.8842	0.0657	0.9498	39.246	119.258	158.504	0.1343	0.4043	0.5386	163.43	0.5590	6.9988	39
40	0.049141	0.8870	0.0698	0.9568	40.253	126.430	166.683	0.1375	0.4273	0.5649	167.61	0.5724	7.3838	40
41	0.052049	0.8898	0.0741	0.9640	41.261	134.005	175.265	0.1407	0.4516	0.5923	171.79	0.5857	7.7866	41
42	0.055119	0.8927	0.0788	0.9714	42.268	142.007	184.275	0.1439	0.4771	0.6211	175.97	0.5990	8.2081	42
43	0.058365	0.8955	0.0837	0.9792	43.275	150.475	193.749	0.1471	0.5041	0.6512	180.15	0.6122	8.6495	43
44	0.061791	0.8983	0.0888	0.9872	44.282	159.417	203.699	0.1503	0.5325	0.6828	184.33	0.6254	9.1110	44
45	0.065411	0.9012	0.0943	0.9955	45.289	168.874	214.164	0.1535	0.5624	0.7159	188.51	0.6386	9.5935	45
46	0.069239	0.9040	0.1002	1.0042	46.296	178.882	225.179	0.1566	0.5940	0.7507	192.69	0.6517	10.0982	46
47	0.073282	0.9069	0.1063	1.0132	47.304	189.455	236.759	0.1598	0.6273	0.7871	196.88	0.6648	10.6250	47
48	0.077556	0.9097	0.1129	1.0226	48.311	200.644	248.935	0.1629	0.6624	0.8253	201.06	0.6778	11.1754	48
49	0.082077	0.9125	0.1198	1.0323	49.319	212.485	261.803	0.1661	0.6994	0.8655	205.24	0.6908	11.7502	49
50	0.086858	0.9154	0.1272	1.0425	50.326	225.019	275.345	0.1692	0.7385	0.9077	209.42	0.7038	12.3503	50
51	0.091918	0.9182	0.1350	1.0532	51.334	238.290	289.624	0.1723	0.7798	0.9521	213.60	0.7167	12.9764	51
52	0.097272	0.9211	0.1433	1.0643	52.341	252.340	304.682	0.1754	0.8234	0.9988	217.78	0.7296	13.6293	52
53	0.102948	0.9239	0.1521	1.0760	53.349	267.247	320.596	0.1785	0.8695	1.0480	221.97	0.7424	14.3108	53
54	0.108954	0.9267	0.1614	1.0882	54.357	283.031	337.388	0.1816	0.9182	1.0998	226.15	0.7552	15.0205	54
55	0.115321	0.9296	0.1713	1.1009	55.365	299.772	355.137	0.1847	0.9698	1.1544	230.33	0.7680	15.7601	55
56	0.122077	0.9324	0.1819	1.1143	56.373	317.549	373.922	0.1877	1.0243	1.2120	234.52	0.7807	16.5311	56
57	0.129243	0.9353	0.1932	1.1284	57.381	336.417	393.798	0.1908	1.0820	1.2728	238.70	0.7934	17.3337	57
58	0.136851	0.9381	0.2051	1.1432	58.389	356.461	414.850	0.1938	1.1432	1.3370	242.88	0.8061	18.1691	58
59	0.144942	0.9409	0.2179	1.1588	59.397	377.788	437.185	0.1969	1.2081	1.4050	247.07	0.8187	19.0393	59

Condensed Water.

ANEXO 1. PROPIEDADES DEL AIRE HÚMEDO A PRESIÓN ATMOSFÉRICA ESTÁNDAR, 101.325 kPa

Fuente: ASHRAE Fundamentals Handbook. 2001 (Continuación)

Temp., °C	Humidity Ratio, kg(w)/kg(da)	Specific Volume, m ³ /kg (dry air)			Specific Enthalpy, kJ/kg (dry air)			Specific Entropy, kJ/(kg·K) (dry air)			Condensed Water		
		v_{da}	v_{as}	v_s	h_{da}	h_{as}	h_s	s_{da}	s_{as}	s_s	h_{pw}	s_{pw}	p_s
60	0.15254	0.9438	0.2315	1.1752	60.405	400.458	460.863	0.1999	1.2769	1.4768	251.25	0.8313	19.9439
61	0.16269	0.9466	0.2460	1.1926	61.413	424.624	486.036	0.2029	1.3500	1.5530	255.44	0.8438	20.8858
62	0.17244	0.9494	0.2614	1.2109	62.421	450.377	512.798	0.2059	1.4278	1.6337	259.62	0.8563	21.8651
63	0.18284	0.9523	0.2780	1.2303	63.429	477.837	541.266	0.2089	1.5104	1.7194	263.81	0.8688	22.8826
64	0.19393	0.9551	0.2957	1.2508	64.438	507.177	571.615	0.2119	1.5985	1.8105	268.00	0.8812	23.9405
65	0.20579	0.9580	0.3147	1.2726	65.446	538.548	603.995	0.2149	1.6925	1.9074	272.18	0.8936	25.0397
66	0.21848	0.9608	0.3350	1.2958	66.455	572.116	638.571	0.2179	1.7927	2.0106	276.37	0.9060	26.1810
67	0.23207	0.9636	0.3568	1.3204	67.463	608.103	675.566	0.2209	1.8999	2.1208	280.56	0.9183	27.3664
68	0.24664	0.9665	0.3803	1.3467	68.472	646.724	715.196	0.2238	2.0147	2.2385	284.75	0.9306	28.5967
69	0.26231	0.9693	0.4055	1.3749	69.481	688.261	757.742	0.2268	2.1378	2.3646	288.94	0.9429	29.8741
70	0.27916	0.9721	0.4328	1.4049	70.489	732.959	803.448	0.2297	2.2699	2.4996	293.13	0.9551	31.1986
71	0.29734	0.9750	0.4622	1.4372	71.498	781.208	852.706	0.2327	2.4122	2.6448	297.32	0.9673	32.5734
72	0.31698	0.9778	0.4941	1.4719	72.507	833.335	905.842	0.2356	2.5655	2.8010	301.51	0.9794	33.9983
73	0.33824	0.9807	0.5287	1.5093	73.516	889.807	963.323	0.2385	2.7311	2.9696	305.70	0.9916	35.4759
74	0.36130	0.9835	0.5662	1.5497	74.525	951.077	1025.603	0.2414	2.9104	3.1518	309.89	1.0037	37.0063
75	0.38641	0.9863	0.6072	1.5935	75.535	1017.841	1093.375	0.2443	3.1052	3.3496	314.08	1.0157	38.5940
76	0.41377	0.9892	0.6519	1.6411	76.543	1090.628	1167.172	0.2472	3.3171	3.5644	318.28	1.0278	40.2369
77	0.44372	0.9920	0.7010	1.6930	77.553	1170.328	1247.881	0.2501	3.5486	3.7987	322.47	1.0398	41.9388
78	0.47663	0.9948	0.7550	1.7498	78.562	1257.921	1336.483	0.2530	3.8023	4.0553	326.67	1.0517	43.7020
79	0.51284	0.9977	0.8145	1.8121	79.572	1354.347	1433.918	0.2559	4.0810	4.3368	330.86	1.0636	45.5248
80	0.55295	1.0005	0.8805	1.8810	80.581	1461.200	1541.781	0.2587	4.3890	4.6477	335.06	1.0755	47.4135
81	0.59751	1.0034	0.9539	1.9572	81.591	1579.961	1661.552	0.2616	4.7305	4.9921	339.25	1.0874	49.3670
82	0.64724	1.0062	1.0360	2.0422	82.600	1712.547	1795.148	0.2644	5.1108	5.3753	343.45	1.0993	51.3860
83	0.70311	1.0090	1.1283	2.1373	83.610	1861.548	1945.158	0.2673	5.5372	5.8045	347.65	1.1111	53.4746
84	0.76624	1.0119	1.2328	2.2446	84.620	2029.983	2114.603	0.2701	6.0181	6.2882	351.85	1.1228	55.6337
85	0.83812	1.0147	1.3518	2.3666	85.630	2221.806	2307.436	0.2729	6.5644	6.8373	356.05	1.1346	57.8658
86	0.92062	1.0175	1.4887	2.5062	86.640	2442.036	2528.677	0.2757	7.1901	7.4658	360.25	1.1463	60.1727
87	1.01611	1.0204	1.6473	2.6676	87.650	2697.016	2784.666	0.2785	7.9128	8.1914	364.45	1.1580	62.5544
88	1.12800	1.0232	1.8333	2.8565	88.661	2995.890	3084.551	0.2813	8.7580	9.0393	368.65	1.1696	65.0166
89	1.26064	1.0261	2.0540	3.0800	89.671	3350.254	3439.925	0.2841	9.7577	10.0419	372.86	1.1812	67.5581
90	1.42031	1.0289	2.3199	3.3488	90.681	3776.918	3867.599	0.2869	10.9586	11.2455	377.06	1.1928	70.1817

ANEXO 2. ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1.	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE CALIDADES DE HARINA DE PESCADO.....	20
TABLA 2.	REQUERIMIENTOS PARA SECADOR DE AIRE CALIENTE.....	66
TABLA 3.	PROPIEDADES PSICROMÉTRICAS EN LA SALIDA DEL CILINDRO SECADOR.....	71
TABLA 4.	PROPIEDADES PSICROMÉTRICAS EN LA SALIDA DEL LAVADOR DE VAHOS.....	71
TABLA 5.	DATOS DE VENTILADOR DE AIRE DE SECADO.....	72
TABLA 6.	DATOS DE VENTILADOR DE RECIRCULACIÓN.....	75
TABLA 7.	RESUMEN DE DATOS DEL GENERADOR DE GASES CALIENTES ENERCOM GGC 13V6 PARA 8000 KG/H DE EVAPORACIÓN.....	80
TABLA 8.	INTERCAMBIADOR DE CALOR GAS - GAS.....	84
TABLA 9.	CILINDRO SECADOR ROTATORIO.....	87
TABLA 10.	CICLÓN SEPARADOR DE FINOS.....	89
TABLA 11.	RESUMEN DE DATOS DE TORRE LAVADORA DE VAHOS.....	90
TABLA 12.	REQUERIMIENTOS DE SUMINISTROS Y CARGAS.....	92

ANEXO 3. ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.	DIAGRAMA ORGANIZACIONAL DE ENERMIN PERÚ S.A.	5
FIGURA 2.	DIAGRAMA DE FLUJO DE FUNCIONES DEL DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA	6
FIGURA 3.	COCEDOR 50 TM/H FABRICADO EN ENERCOM.....	10
FIGURA 4.	SECADOR INSTALADO TIPO ROTATUBOS	11
FIGURA 5.	INTERIOR DE UN SECADOR TIPO ROTATUBOS.....	12
FIGURA 6.	INTERIOR DE UN SECADOR TIPO ROTADISCOS	12
FIGURA 7.	SECADOR ROTADISCOS FABRICADO EN PERÚ.....	13
FIGURA 8.	CÁMARA DE COMBUSTIÓN DE UN GENERADOR DE GASES CALIENTES	13
FIGURA 9.	SECADOR CONVECTIVO POR AIRE CALIENTE	14
FIGURA 10.	EVAPORADORES TIPO WHE DE AGUA DE COLA.....	15
FIGURA 11.	TORRES LAVADORAS DE GASES Y VAHOS.....	16
FIGURA 12.	ENFRIADOR ESTÁTICO POSTERIOR AL SECADO.....	16
FIGURA 13.	CILINDRO ROTATIVO CON FLUJOS PARALELOS DE AIRE Y HARINA HÚMEDA.....	17
FIGURA 14.	PROCESO PRODUCCIÓN DE HARINA Y ACEITE DE PESCADO.....	19
FIGURA 15.	DESCRIPCIÓN GRAFICA DE HUMEDADES DE UN SÓLIDO EXPUESTO A UN GAS.....	28
FIGURA 16.	FORMAS DE LAS CARTAS PSICROMÉTRICAS	32

FIGURA 17. SECADOR ROTATORIO CON AIRE CALIENTE EN CONTRACORRIENTE	36
FIGURA 18. ESQUEMAS DE SECADORES ROTATORIOS.....	39
FIGURA 19. SECADO CONVECTIVO.....	41
FIGURA 20. ESQUEMA DE FLUJO DE PROCESO PARA BALANCE DE MATERIA Y ENERGÍA.....	43
FIGURA 21. ESQUEMA DE BALANCE DE ENERGÍA EN CILINDRO SECADOR.....	50
FIGURA 22. ESQUEMA SIMPLIFICADO DE INSTALACIÓN DE EQUIPOS COMPONENTES DEL SECADOR DE AIRE CALIENTE.....	59
FIGURA 23. CRONOGRAMA DE IMPLEMENTACIÓN DE SECADOR INICIO 23 / 11 / 2010 - DURACIÓN 137 DÍAS.....	64
FIGURA 24. BALANCE DE MASA EN PLANTA DE 168 TM/H TERCER SECADO: ENTRADA 23% - SALIDA 8%	67
FIGURA 25. ESQUEMA DE PROCESO DEL SECADO POR AIRE CALIENTE.....	70
FIGURA 26. RESULTADOS DE SELECCIÓN DEL VENTILADOR DE AIRE DE SECADO	73
FIGURA 27. CURVAS DE OPERACIÓN DEL VENTILADOR DE AIRE DE SECADO	74
FIGURA 28. RESULTADOS DE SELECCIÓN DEL VENTILADOR	

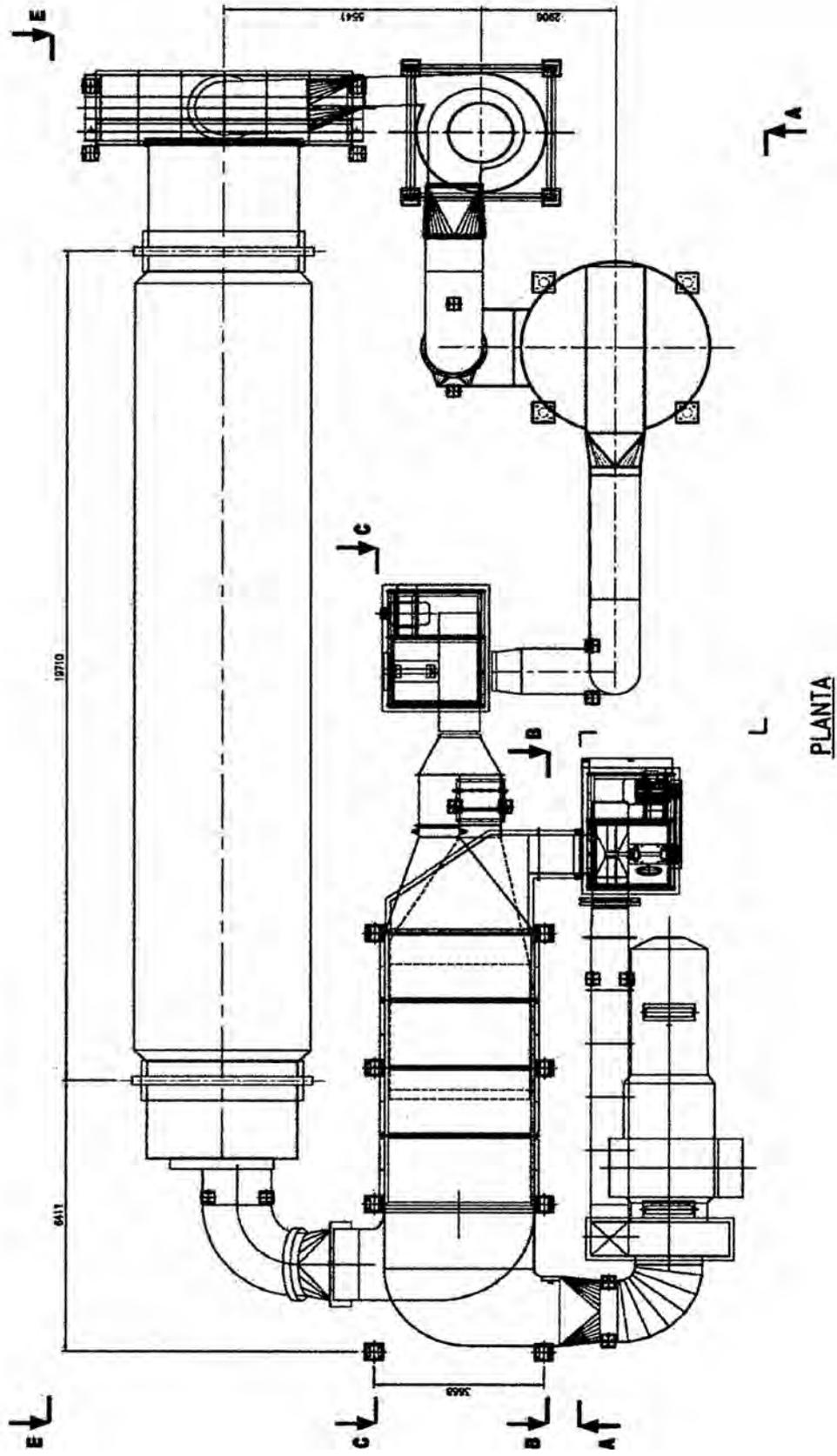
DE RECIRCULACIÓN.....	76
FIGURA 29. CURVAS DE OPERACIÓN DEL VENTILADOR DE RECIRCULACIÓN.....	77
FIGURA 30. ESQUEMA DE CIRCULACIÓN DE FLUJOS EN INTERCAMBIADOR DE CALOR	82
FIGURA 31. DIMENSIONES GENERALES DE UN BANCO DE TUBOS. TOTAL CUATRO BANCOS.....	83
FIGURA 32. VISTA DE ELEVACIÓN DE CILINDRO SECADOR.....	86
FIGURA 33. DIMENSIONES DEL CICLÓN SEPARADOR.....	88
FIGURA 34. ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO DE TORRE LAVADORA DE VAHOS.....	91
FIGURA 35. FLOWSHEET DE SISTEMA DE SECADO POR AIRE CALIENTE DE 8000 KG/H DE EVAPORACIÓN.....	94
FIGURA 36. DIAGRAMA DE INSTRUMENTACIÓN Y PROCESO P&ID DEL SAC-8000.....	97
FIGURA 37. DIMENSIONES GENERALES PARA INSTALACIÓN DE TORRE LAVADORA.....	98
FIGURA 38. DETALLE DE INSTALACIÓN EN ALIMENTACIÓN DE CILINDRO DE SECADO	99
FIGURA 39. DETALLE DE INSTALACIÓN EN DESCARGA DE CILINDRO SECADOR.....	99
FIGURA 40. BASES DE EQUIPOS CONSTRUIDAS POR EL CLIENTE.....	100

FIGURA 41. GENERADOR DE GASES CALIENTES ANTES DEL ACONDICIONAMIENTO	100
FIGURA 42. CILINDRO ROTATIVO MONTADO POR EL CLIENTE SOBRE SUS BASES.....	101
FIGURA 43. CICLÓN SEPARADOR DE FINOS SUMINISTRADO POR EL CLIENTE	101
FIGURA 44. FABRICACIÓN DE ESPEJOS DE BANCOS DE TUBOS DE INTERCAMBIADOR GAS - GAS.....	102
FIGURA 45. FABRICACIÓN DE CARCAZA DE INTERCAMBIADOR GAS- GAS.....	102
FIGURA 46. ANCLAJES PARA INSTALACIÓN DE CONCRETO AISLANTE EN CARCAZA DE INTERCAMBIADOR	103
FIGURA 47. BANCO DE TUBOS DE INTERCAMBIADOR GAS - GAS.....	103
FIGURA 48. MONTAJE DE VENTILADOR DE RECIRCULACIÓN DE GASES.....	104
FIGURA 49. MONTAJE DE DUCTO DE INGRESO DE AIRE CALIENTE A CILINDRO SECADOR	104
FIGURA 50. MONTAJE SOBRE SUS BASES DE TORRE LAVADORA.....	105
FIGURA 51. DUCTOS DE INTERCONEXIÓN ENTRE CILINDRO SECADOR, CICLÓN Y LAVADOR.....	105
FIGURA 52. VISTA DE SECADOR SAC-8000 EN LA ZONA DE	

DESCARGA	106
FIGURA 53. VISTA DE SECADOR SAC-8000 EN ZONA DE GENERACIÓN DE GASES CALIENTES.....	106
FIGURA 54. PRECIO FOB PERÚ DE LA HARINA DE PESCADO EN DÓLARES POR TONELADA MÉTRICA.....	111

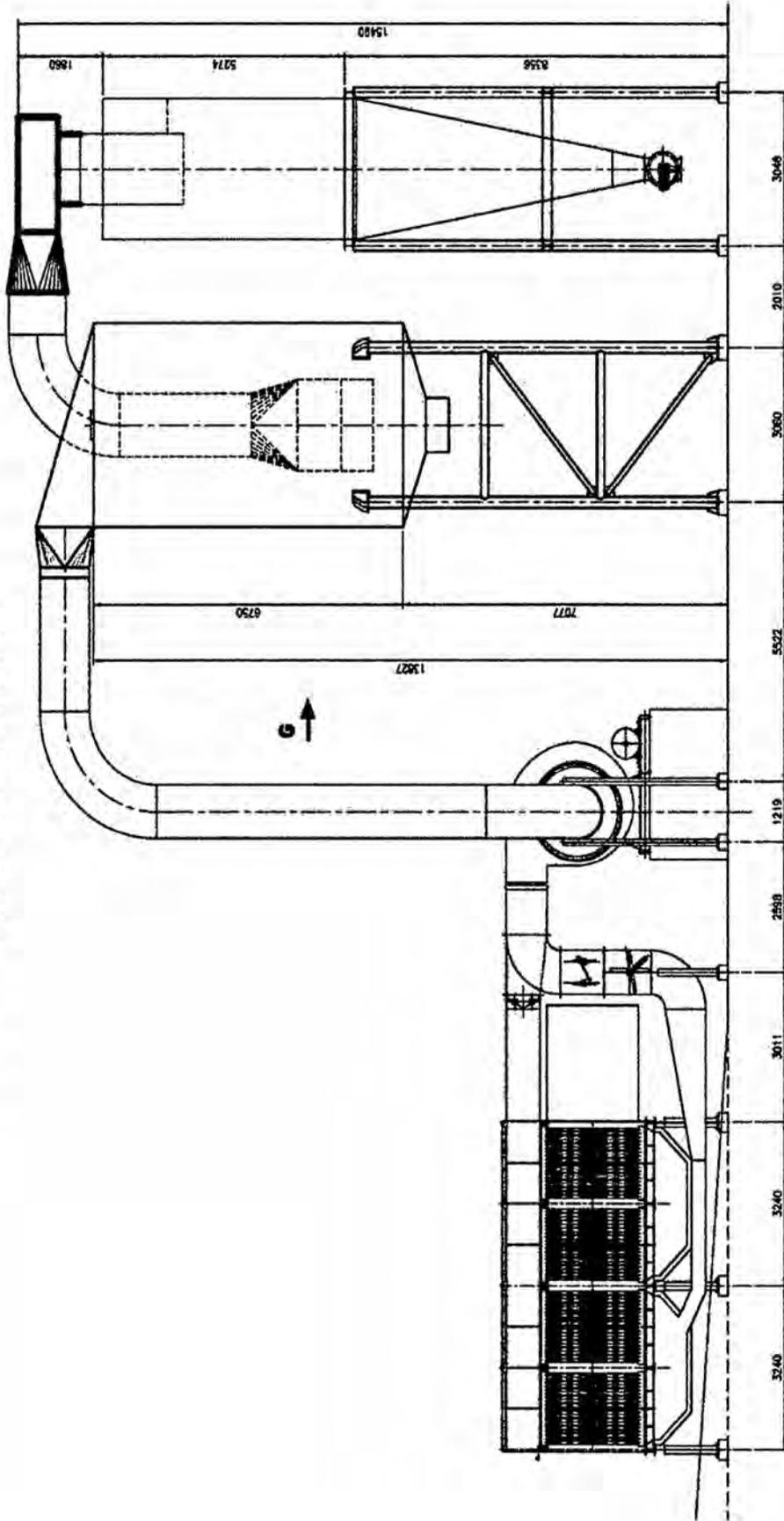
ANEXO 4.1 LAYOUT DE LA INSTALACIÓN - VISTA DE PLANTA

Fuente: Enermin Perú S.A.



ANEXO 4.2 LAYOUT DE LA INSTALACIÓN - VISTA A-A

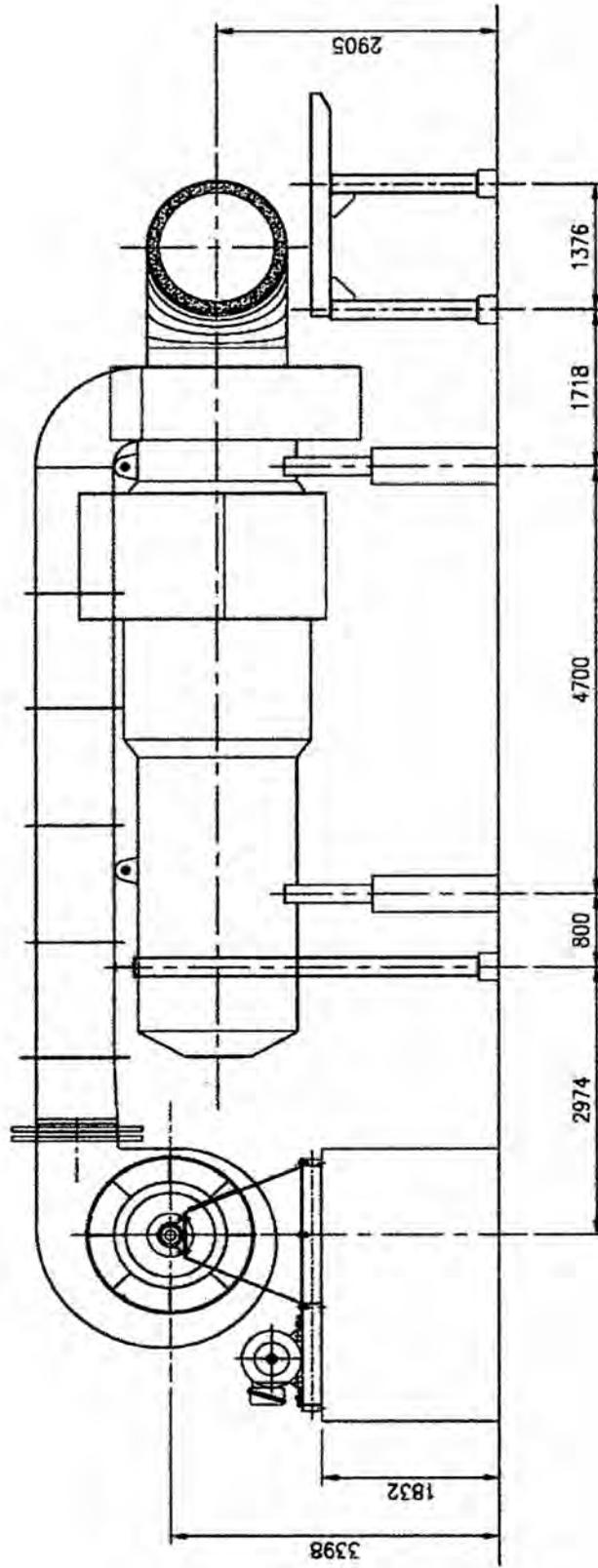
Fuente: Enermin Perú S.A.



VISTA A-A

ANEXO 4.3 LAYOUT DE LA INSTALACIÓN - VISTA B-B

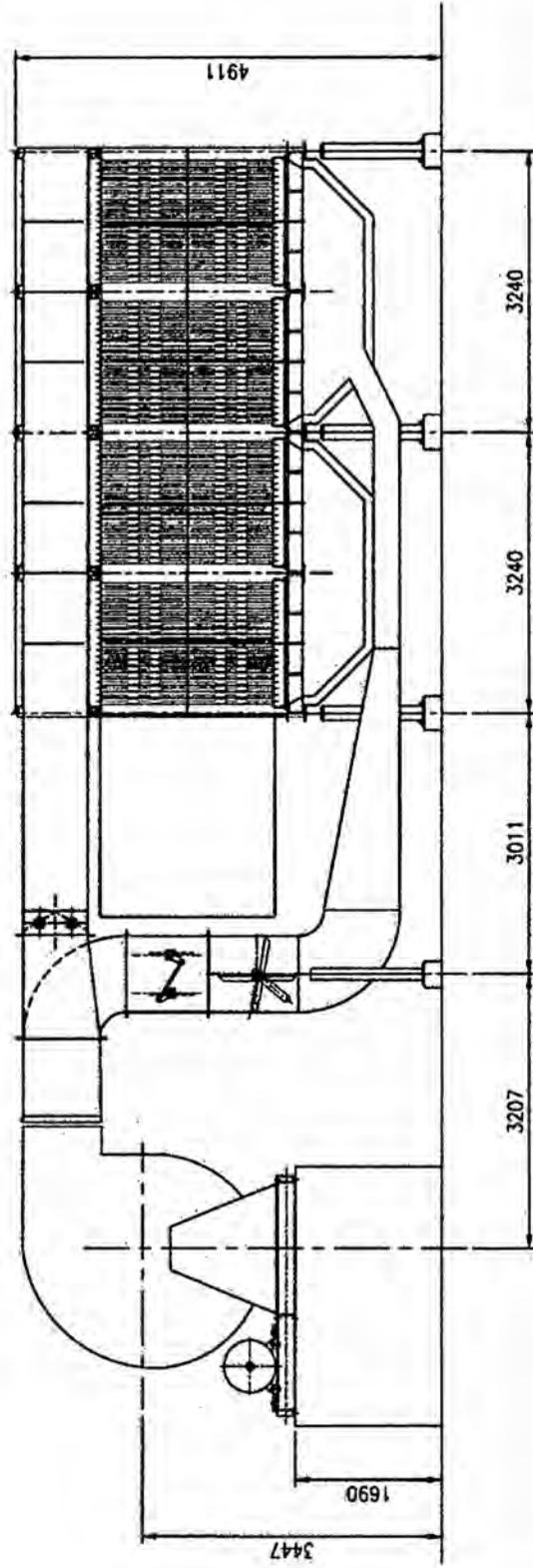
Fuente: Enermin Perú S.A.



VISTA B-B

ANEXO 4.4 LAYOUT DE LA INSTALACIÓN - VISTA C-C

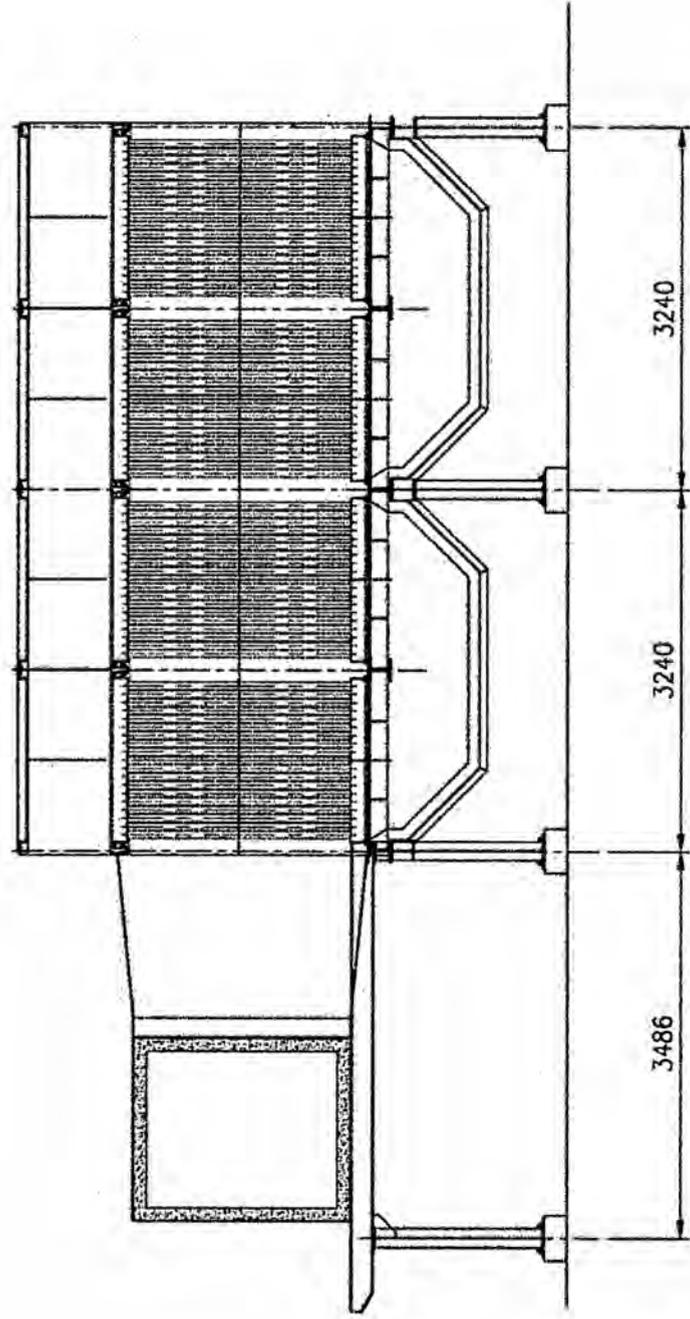
Fuente: Enermin Perú S.A.



VISTA C-C

ANEXO 4.5 LAYOUT DE LA INSTALACIÓN - VISTA D-D

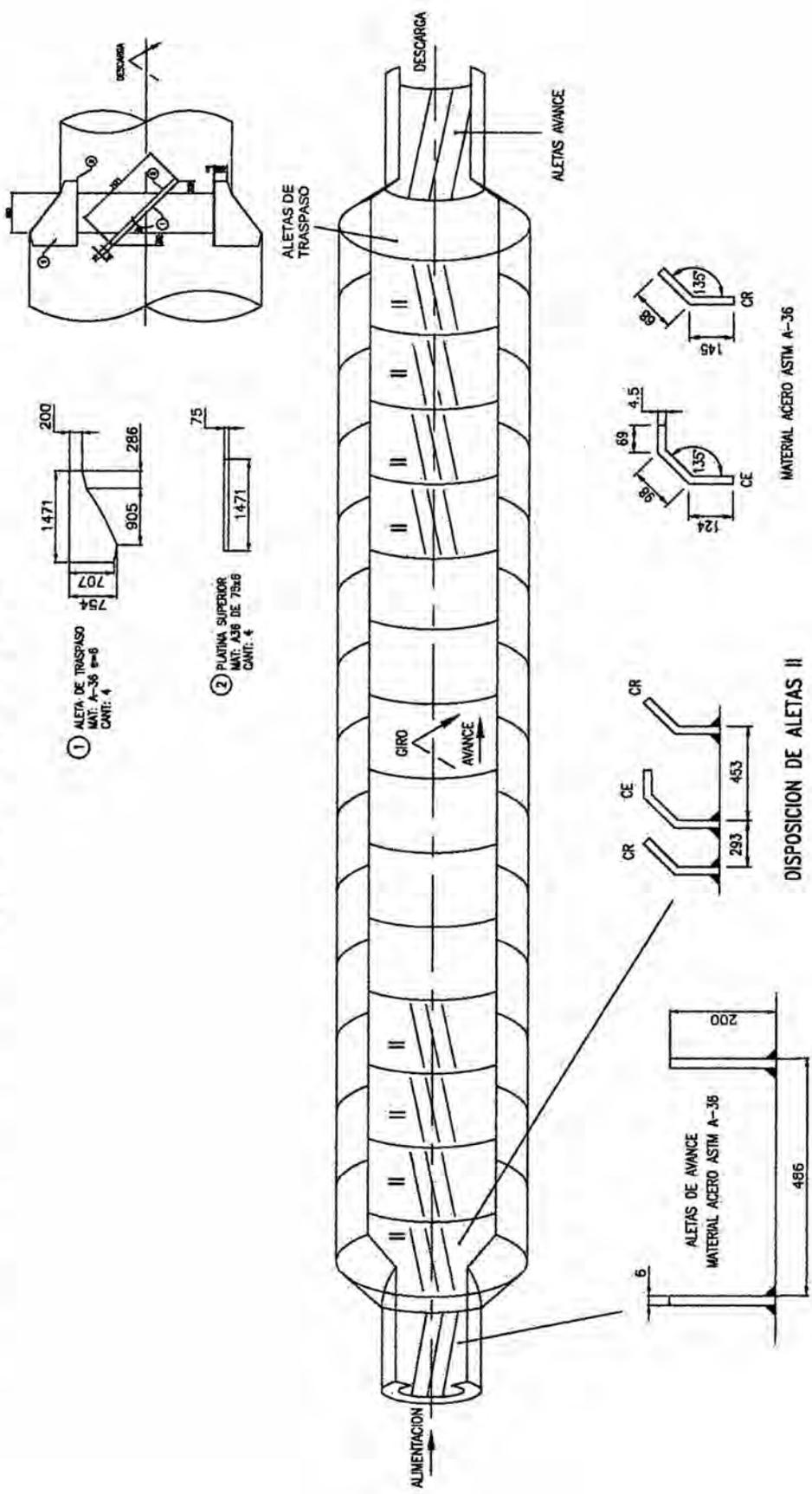
Fuente: Enermin Perú S.A.



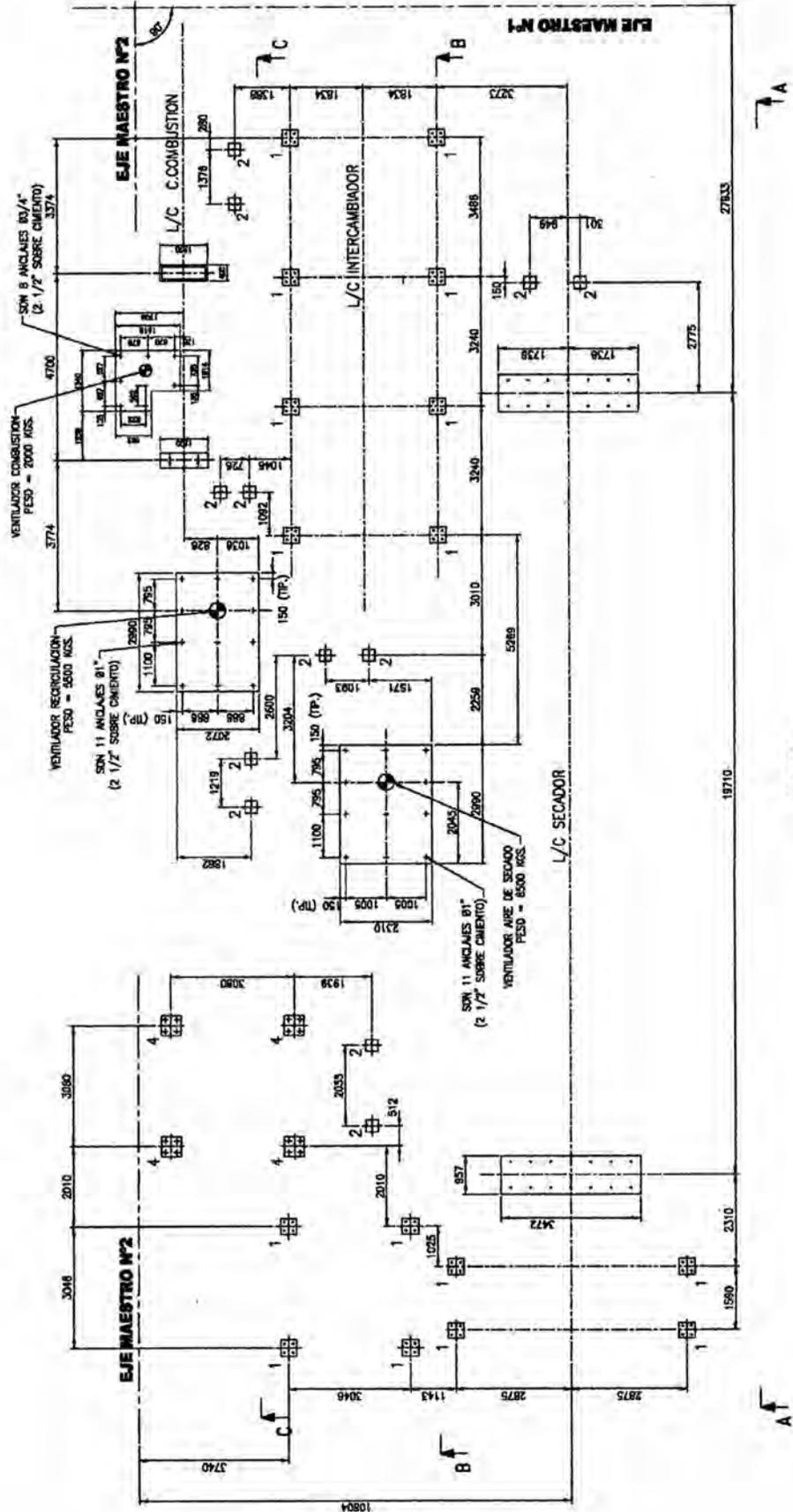
VISTA D-D

ANEXO 4.6 ACONDICIONAMIENTO DE ALETAS INTERIORES EN CILINDRO DE SECADO

Fuente: Enermin Perú S.A.



ANEXO 4.7 DEFINICIÓN DE BASES DEL SECADOR - VISTA DE PLANTA
 Fuente: Enermin Perú S.A.



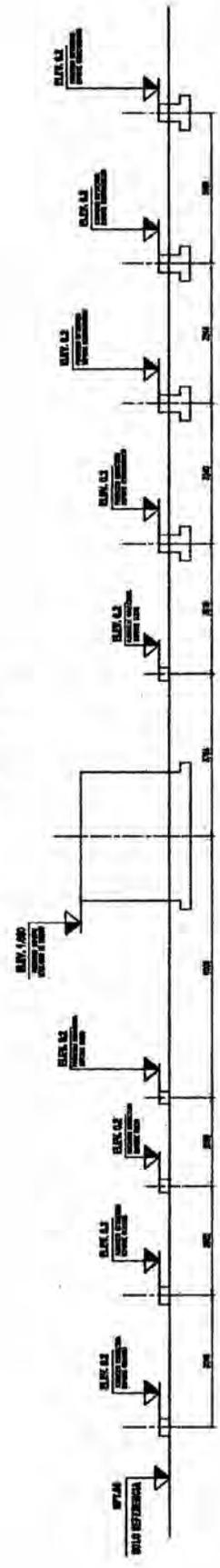
PLANTA

ANEXO 4.8 DEFINICIÓN DE BASES DEL SECADOR - VISTA DE ELEVACIÓN

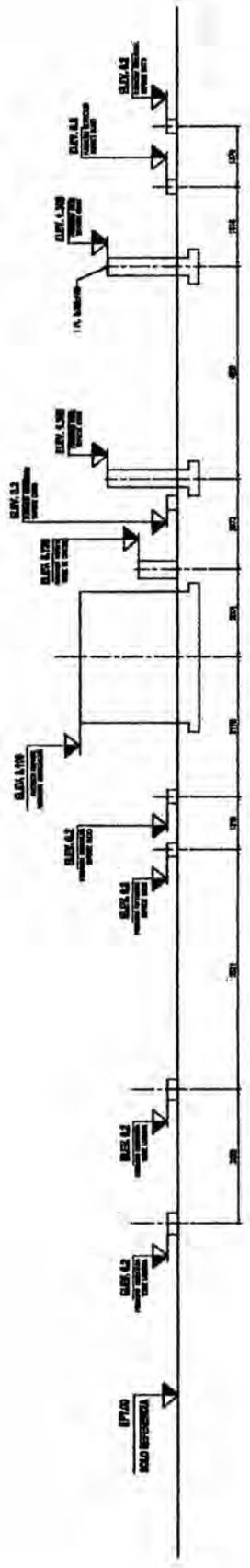
Fuente: Enermin Perú S.A.



ELEVACION (VISTA A-A)



ELEVACION (VISTA B-B)

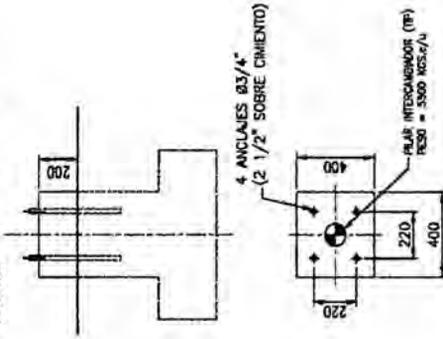


ELEVACION (VISTA C-C)

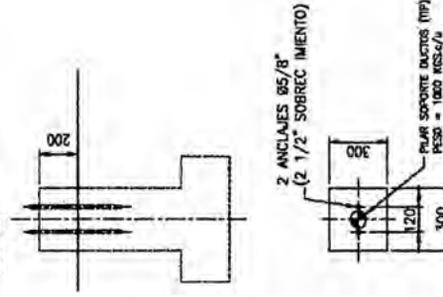
ANEXO 4.9 DEFINICIÓN DE BASES DEL SECADOR - DETALLES

Fuente: Enermin Perú S.A.

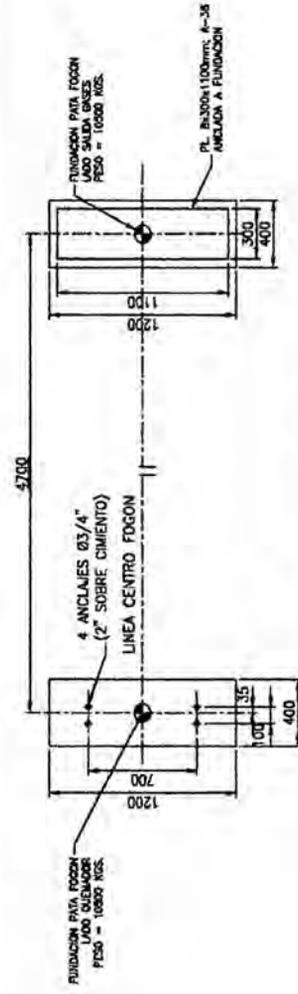
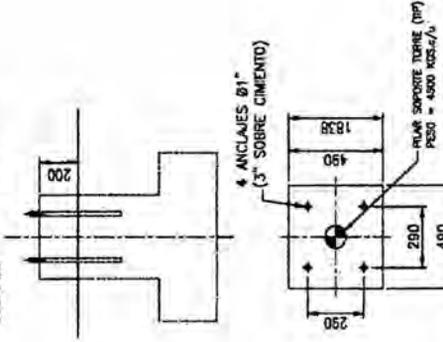
DETALLE FUNDACION TIPO: 1
PARA SOPORTE INTERCAMBIADOR
ESC.1:20



DETALLE FUNDACION TIPO: 2
PARA SOPORTE DUCTOS
ESC.1:20

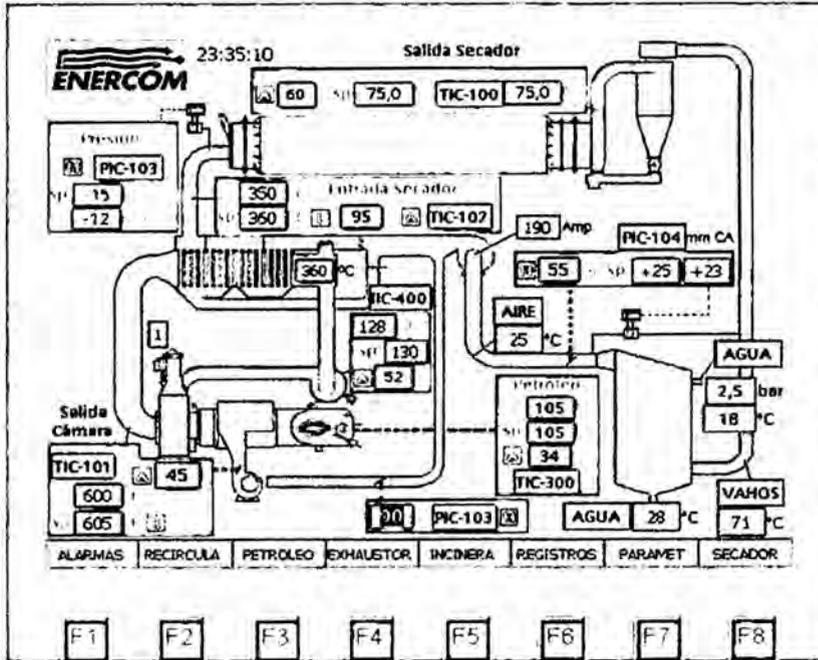


DETALLE FUNDACION TIPO: 4
PARA SOPORTE TORRE LAVADORA
ESC.1:20

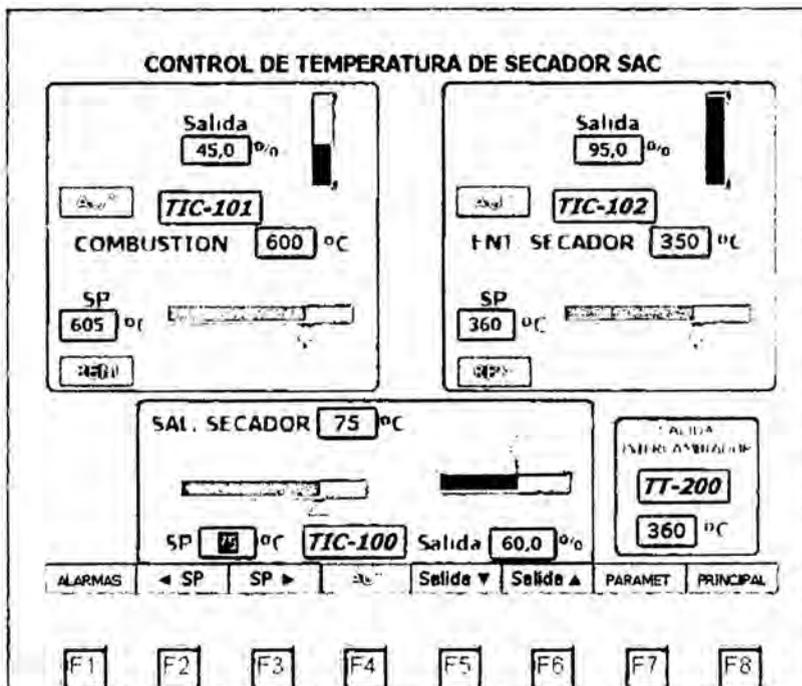


DETALLE FUNDACION PARA FOGON
ESC.1:25

ANEXO 4.10 IMAGEN DE PANTALLA PRINCIPAL DE CONTROL
Fuente: Enermin Perú S.A.



ANEXO 4.11 PANTALLA DE CONTROL DE TEMPERATURAS
Fuente: Enermin Perú S.A.



ANEXO 4.12 PANTALLA DE INDICACIÓN DE ALARMAS
Fuente: Enermin Perú S.A.

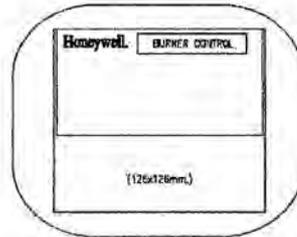
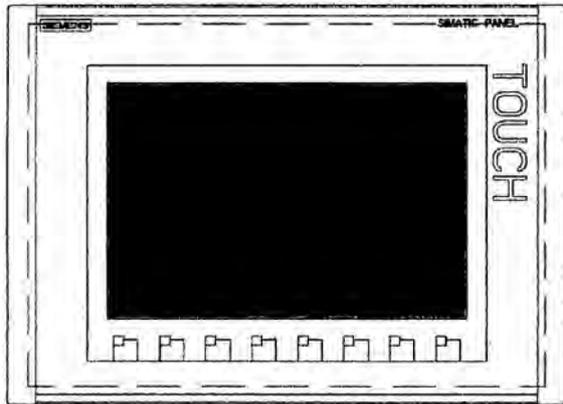
Salida Cámara 600 °C	Gases de Recirculación 360 °C	Entrada Secador 350 °C	Salida Secador 75 °C	Presión Agua de Mar 2,5 bar			
Intelecto OK	Quemador sin falla	Selector Quemador Petróleo	OK - Presión de Vapor de Atmósfera	Temperatura Petróleo 105 °C			
OK Ventilador de Aire de Secado	OK - Presión de Aire de Secado	OK Ventilador de Combustión	OK - Presión de Aire de Combustión	OK - Presión de Aire Comprimido			
OK Motor de Secador	OK Ventilador de Recirculación	OK Ventilador de Enfriamiento	OK - TN Alimentación de Carga	OK - TN Salida de Carga			
Entrada Vahos a levador 71 °C	Salida Gases De Levador 25 °C	Salida Agua De Levador 28 °C	Válvula Rotatoria 1 OK	Válvula Rotatoria 2 OK			
Presión Entrada Secador -12 mm CA	Corriente Vent. Recirculación 128 Amp						
ALARMAS	AN - I/O	ENT. DIG.	SAL. DIG.	E/S - AN	REGISTROS	PARAMET	PRINCIPAL
F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8

ANEXO 4.13 VISTA DE CONSTRUCCIÓN DE CASETA DE CONTROL
Fuente: Enermin Perú S.A.



ANEXO 4.14 ESQUEMA DEL TABLERO DE CONTROL

Fuente: Enermin Perú S.A.



ELEMENTOS
CABLEADOS SÓLO
AL PROGRAMADOR

