



Diseño y dimensionamiento de un prototipo experimental de un secador solar híbrido de pequeña capacidad, para el estudio de las variables del proceso de secado de productos marinos y acuícolas del estado de Campeche



**PLANTA COMUNITARIA PARA EL SECADO DE PRODUCTOS PESQUEROS OPERADA
CON ENERGÍA TERMOSOLAR PARA SU INTEGRACIÓN EN COMUNIDADES
RURALES**



CONTENIDO

Ficha técnica de diseño

1. Diseño conceptual
2. Diseño estructural y materiales de construcción
3. Subsistemas de suministro de energía térmica
 - 3.1 Subsistema de calentamiento solar directo, SCSD
 - 3.2 Subsistema de calentamiento solar indirecto. SCSI
 - 3.3 Subsistema de calentamiento auxiliar
4. Principio de funcionamiento
5. Circuitos hidráulicos
6. Circuitos eléctricos



Ficha básica de diseño

Nombre: Prototipo experimental de un secador solar hibrido de pequeña capacidad. PESSH, para el tratamiento de pescado
Tipo: túnel
Tipo de operación: por lotes
Tipo de circulación del aire: forzada, sin recirculación
Fluido de trabajo: aire caliente
Suministro térmico: captadores solares para calentamiento de aire y para calentamiento de agua
Energía térmica complementaria: resistencias eléctricas
Capacidad de almacenamiento térmico: 500 L
Capacidad de procesamiento por lote: 50 kg de pescado fresco
Producción de pescado seco por lote: 7 a 8 kg
Área ocupada por el túnel: 4.5 m ²
Materiales estructurales: acero, lamina de fierro negro, lámina de acero inoxidable grado alimenticio, aislamiento térmico
Ubicación: Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma del Estado de Campeche, Ciudad San Francisco de Campeche Coordenadas: 19° 50'55'' LN y -90° 31'31'' Oeste Altitud: 3 msnm

1. Diseño conceptual

El Prototipo experimental de un secador solar híbrido de pequeña capacidad. PESSH, está diseñado para el tratamiento de productos marinos, en particular la deshidratación de pescado, pudiéndose aplicar también para el tratamiento tanto de productos agrícolas como pecuarios.

El PESSH, está diseñado para operar con aire caliente como fluido térmico para realizar el proceso de secado, en donde se pone en contacto con el alimento para transmitirle su calor y al mismo tiempo transportar la humedad eliminada hacia el exterior. Este proceso se lleva a cabo en la cámara de secado, en donde se coloca el producto húmedo para ser tratado.

El funcionamiento del PESSH está basado en la utilización de energías renovables como la solar, la biomasa y la geotermia, así como la potencial reutilización de fuentes térmicas de desecho de procesos industriales. En este diseño preliminar se propone la aplicación de la energía solar térmica y fotovoltaica con un apoyo energético de un calentamiento eléctrico convencional.

El aire caliente que se suministra a la cámara de secado proviene de dos sistemas de calentamiento solar: un sistema de calentamiento de agua, en donde el agua caliente es enviada a un intercambiador aire-agua para ponerse en contacto indirecto con una corriente de aire ambiente y otro sistema de calentamiento solar directo de aire. Estos dos sistemas se pueden utilizar indistintamente según los requerimientos de energía, ya que cada uno se puede aislar del otro por medio de válvulas de compuerta.

Cada uno de estos sistemas de calentamiento solar provee de manera independiente el aire caliente a la cámara de secado. Dependiendo del sistema de calentamiento de aire a utilizar, el aire caliente es transportado a la cámara de secado por medio de un extractor, el cual succiona el aire proveniente de los calentadores de aire o del exterior por medio del intercambiador de calor, según sea requerido. El aire menos caliente y húmedo es extraído finalmente por la chimenea o recircularse una vez extraído la mayor parte de su humedad, por medio de un deshumidificador y enviado nuevamente al sistema de calentamiento



directo se aire. En caso de tener poca o nula disponibilidad de energía solar, el PESSH cuenta con un sistema de almacenamiento de agua caliente el cual contiene un calentamiento auxiliar por medio de resistencias eléctricas con control termostático.

Adicionalmente se propone de manera opcional la integración de un sistema solar fotovoltaico, SSF, para la operación del motor de extractor que incluye un módulo de celdas fotovoltaicas, un banco de baterías para almacenamiento eléctrico y un inversor. El SSF, estará diseñado para operar de manera directa al motor de corriente directa o a través del banco de baterías. También puede operar el motor de corriente alterna por medio del inversor. Para la iluminación nocturna se utilizarán lámparas LED con baterías recargables detectoras de movimiento

2. Diseño estructural y materiales de construcción

El PESSH es un secador tipo túnel de sección rectangular La figura 1, representa esquemáticamente la descripción del PESSH, la cual consiste en cinco unidades: la unidad A, formada por un intercambiador de calor agua caliente-aire, que tiene como función calentar el aire exterior de manera indirecta, por medio de la circulación de agua calentada por medio de un banco de captadores solares planos. El aire exterior es filtrado e introducido a la cámara de secado por medio del extractor de aire colocado en la sección posterior del PESSH.

En la unidad B, está el acoplamiento con la unidad A y en donde la sección transversal se reduce a un diámetro menor, e incluye: una válvula de compuerta, la conexión con la tubería de acceso del aire proveniente de los calentadores solares de aire, cuyo acceso se controla por medio de una válvula o compuerta colocada al exterior del túnel de secado, el ducto de conexión con la siguiente unidad, exponiéndose hasta la sección transversal del túnel. Se incluyen en esta unidad un termómetro bimetálico de carátula, así como un termómetro resistivo PT100, para visualizar y medir la temperatura de entrada del aire proveniente del intercambiador de calor y del calentamiento solar de aire, respectivamente.

La unidad C, corresponde a una sección donde se pretende estabilizar el flujo de aire y cuenta una serie de rejillas que controlan la dirección del aire hacia la cámara de secado.

La unidad D, es propiamente la cámara de secado, que está formada por dos secciones, las



cuales pueden contener hasta

cinco niveles de charolas cada una, siendo un total de 10 por cada unidad. El túnel puede contener una o varias unidades de secado, las cuales se incorporan mediante un sistema hermético de bridas.

La unidad E, contiene el extractor de aire que succiona el aire caliente de los dos sistemas de calentamiento solar. Se propone para su operación utilizar un motor de corriente alterna y otro de corriente directa, en caso de utilizar un sistema solar fotovoltaico. En esta unidad se encuentra un variador de frecuencia para regular la velocidad del motor para obtener diferentes flujos volumétricos de aire.

La unidad F, contiene el sistema de salida del aire húmedo y menos caliente que puede enviarse al exterior o recircularlo hacia los calentadores de aire para su reutilización. Para disminuir la humedad del aire de salida se propone la utilización de un deshumidificador, (opcional), en donde el aire húmedo se enfría por debajo de su temperatura de rocío, condensándose, colectándose y recuperándose hacia el exterior para otras posibles aplicaciones, como riego. por que consiste en una chimenea para facilitar la salida del aire caliente y húmedo de la cámara de secado.

En las figuras 2 se presenta el diseño mecánico de la unidad A y B y la figura 3 se presenta el diseño mecánico de la unidad C. En las figuras 4, 5 y 6 el diseño mecánico propuesta para la unidad D (cámara de secado). Cabe mencionar que no se han incluido los diseños de las unidades E y F, debido a que en el caso de E dependerá de las medidas del motor extractor y en el caso de la unidad F, de si se opta por el sistema de recirculación de aire. En caso negativo, solo se incluirá el diseño mecánico de la chimenea.

El PESSH, considerando dos unidades de secado, ocupa un área máxima aproximada de 4.42 m², siendo equivalente a un ancho de 0.6m y un largo de 7.3 m, siendo un volumen de 2.21 m³. No se incluyen las áreas ocupadas por los sistemas de calentamiento solar y el sistema de almacenamiento térmico, así como las áreas destinadas al tratamiento de producto fresco y seco.



3. Subsistemas de suministro de energía térmica

El PESSH opera con aire caliente, el cual se introduce a la unidad de secado, bajo condiciones de temperatura, mediante el control del flujo. El suministro térmico se lleva a cabo utilizando la energía termosolar, con dos tipos de captadores solares, uno de los cuales calientan el aire de manera directa, CSD, y otro por calentamiento indirecto por medio de agua caliente que se introduce al intercambiador de calor agua-aire, la cual se pone en contacto indirecto con el aire fluyendo, lo que provoca su calentamiento. En ambos casos el aire caliente se introduce a la sección de secado por medio de ventiladores centrífugos. Adicionalmente se cuenta con un sistema auxiliar de calentamiento, en este caso se propone eléctrico por cuestiones de seguridad.

3.1 Subsistema de calentamiento solar directo, SCSD.

El SCSD, está formado por captadores solares para calentamiento de aire, (CSD), con absorbedor de cobre y superficie selectiva y aislamiento térmico, un extractor de aire del tipo centrífugo, (VC) filtros de aire, (FA), así como válvulas de paso (V), para direccionar el flujo de aire, hacia la unidad de secado. El SCDD cuenta con dos circuitos hidráulicos, uno entre los calentadores solares de aire y la cámara de secado y otro de recirculación con una previa recuperación de humedad.

3.2 Subsistema de calentamiento solar indirecto, SCSI

El SCSI está constituido por captadores solares planos de alta temperatura (80 °C para el calentamiento de agua, un intercambiador de calor agua-aire, un almacenamiento térmico de agua caliente, bombas para recirculación y válvulas termostáticas, control diferencial digital y un vaso expansor. El SCSI, contiene cinco circuitos hidráulicos de agua caliente; uno de recirculación entre los captadores solares, y el intercambiador de calor, otro entre los captadores solares y el almacenamiento térmico y otro entre el almacenamiento y el intercambiador de calor.



3.3 Subsistema de calentamiento auxiliar.

El sistema de calentamiento auxiliar está integrado al almacenamiento térmico y en este caso se propone el uso de resistencias eléctricas, debido a problemas de seguridad por el uso de combustibles convencionales.

4. Principio de funcionamiento

El funcionamiento del PESSH tiene cuatro modalidades: el funcionamiento diurno, FD, en donde puede operar en el día indistintamente con el SCD o el SCI. El funcionamiento nocturno FN, en donde opera solo el SCI, el cual funciona durante el día y el agua caliente se almacena en el termotanque y en la noche se recircula hacia el intercambiador de calor para un periodo de secado nocturno o cuando existe intermitencia en la disponibilidad de la radiación solar.

El funcionamiento diurno y nocturno FDN, en donde se operan de manera simultánea los dos SCD y SCI, el SCD calienta el aire que se introduce a la unidad de secado, mientras que el SCI calienta y almacena agua durante el día, la cual se utilizara para operar el secador durante la noche y tener una operación continua de cerca de 16 h. Y finalmente el funcionamiento con el sistema auxiliar, FA, en donde el agua se calienta por medio de resistencias eléctricas y se hace circular hacia el intercambiador de calor.



Figuras

Prototipo experimental de un secador solar híbrido para el tratamiento de pescado, PESSH

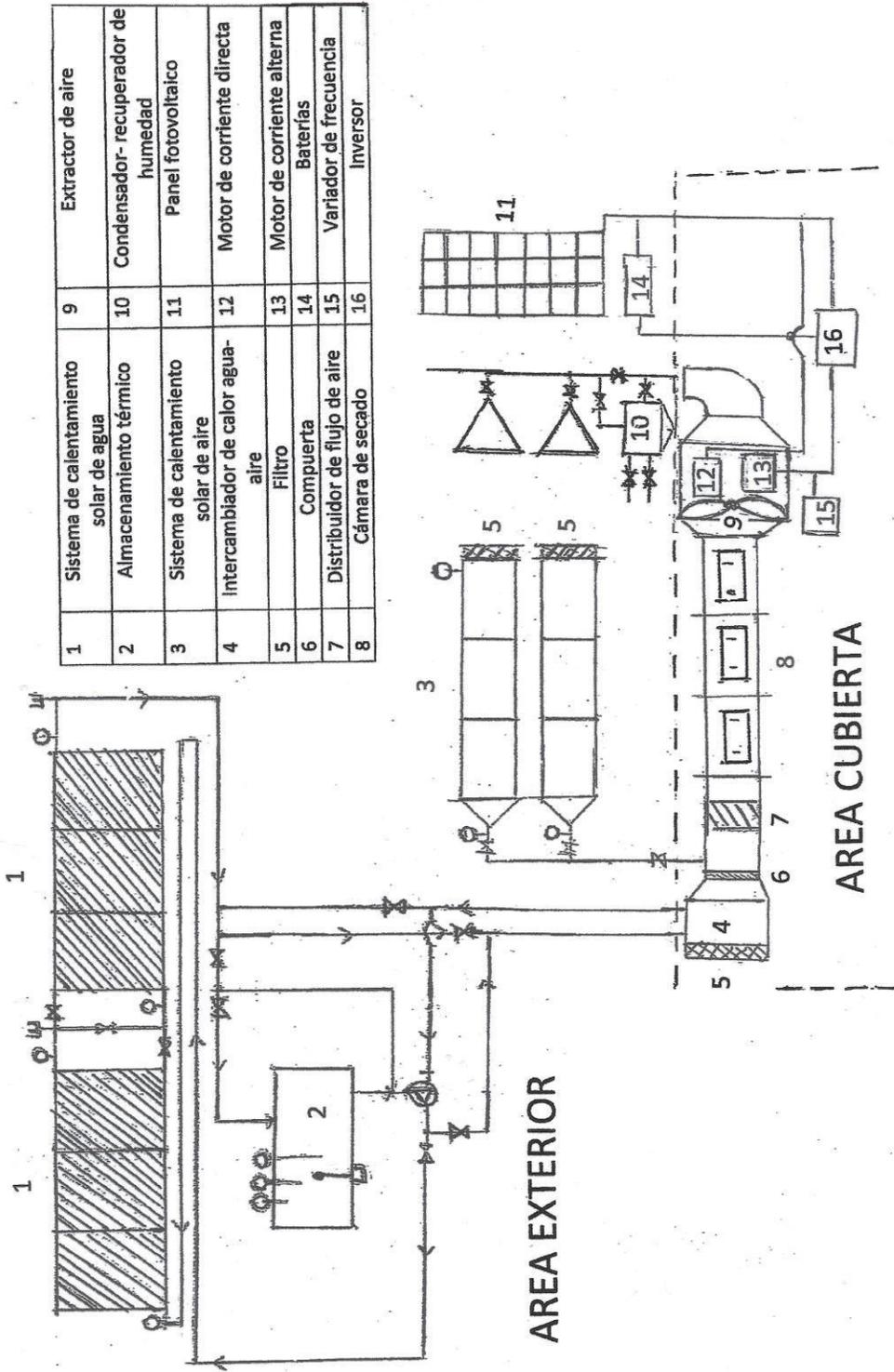


FIGURA 1

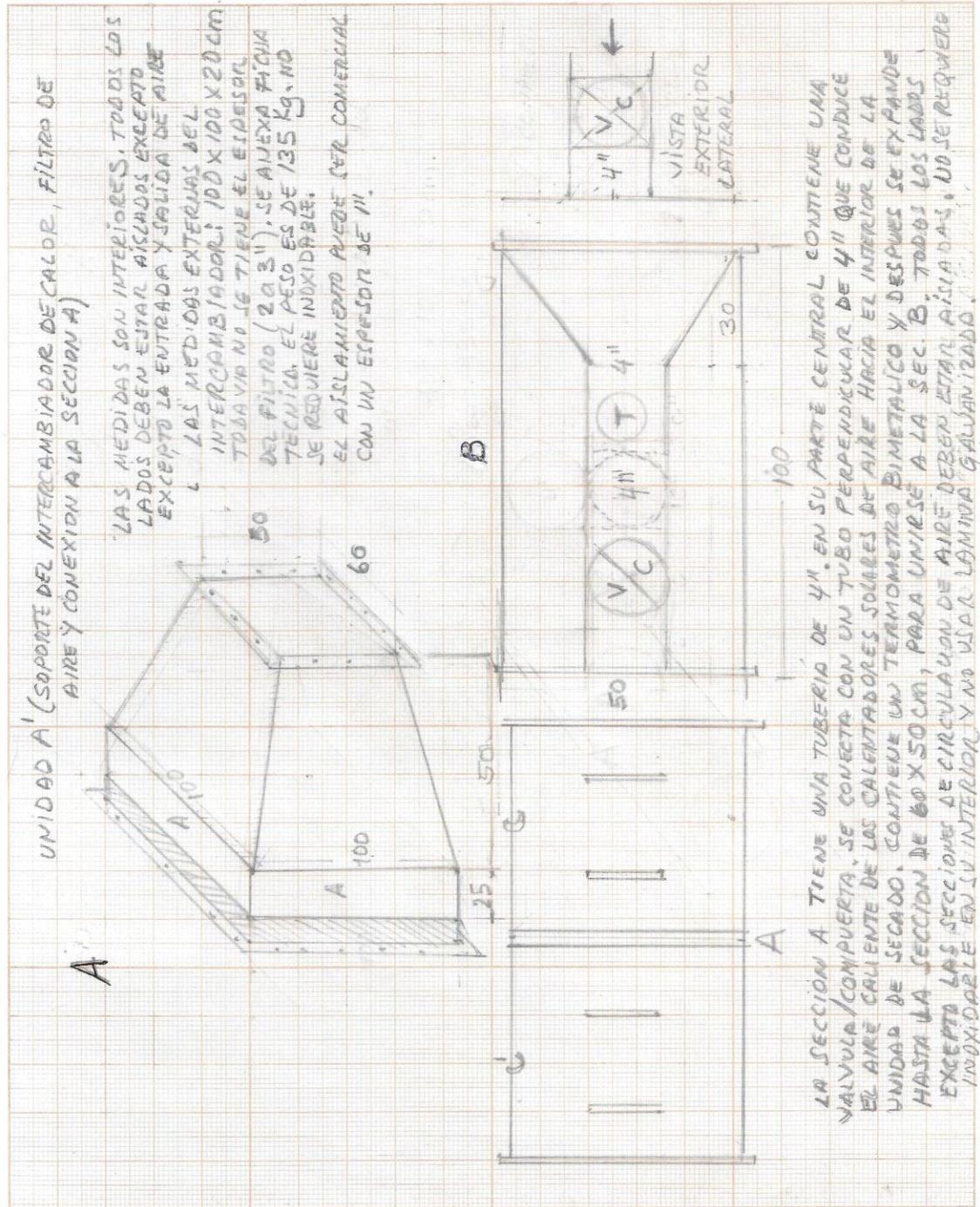


FIGURA 2

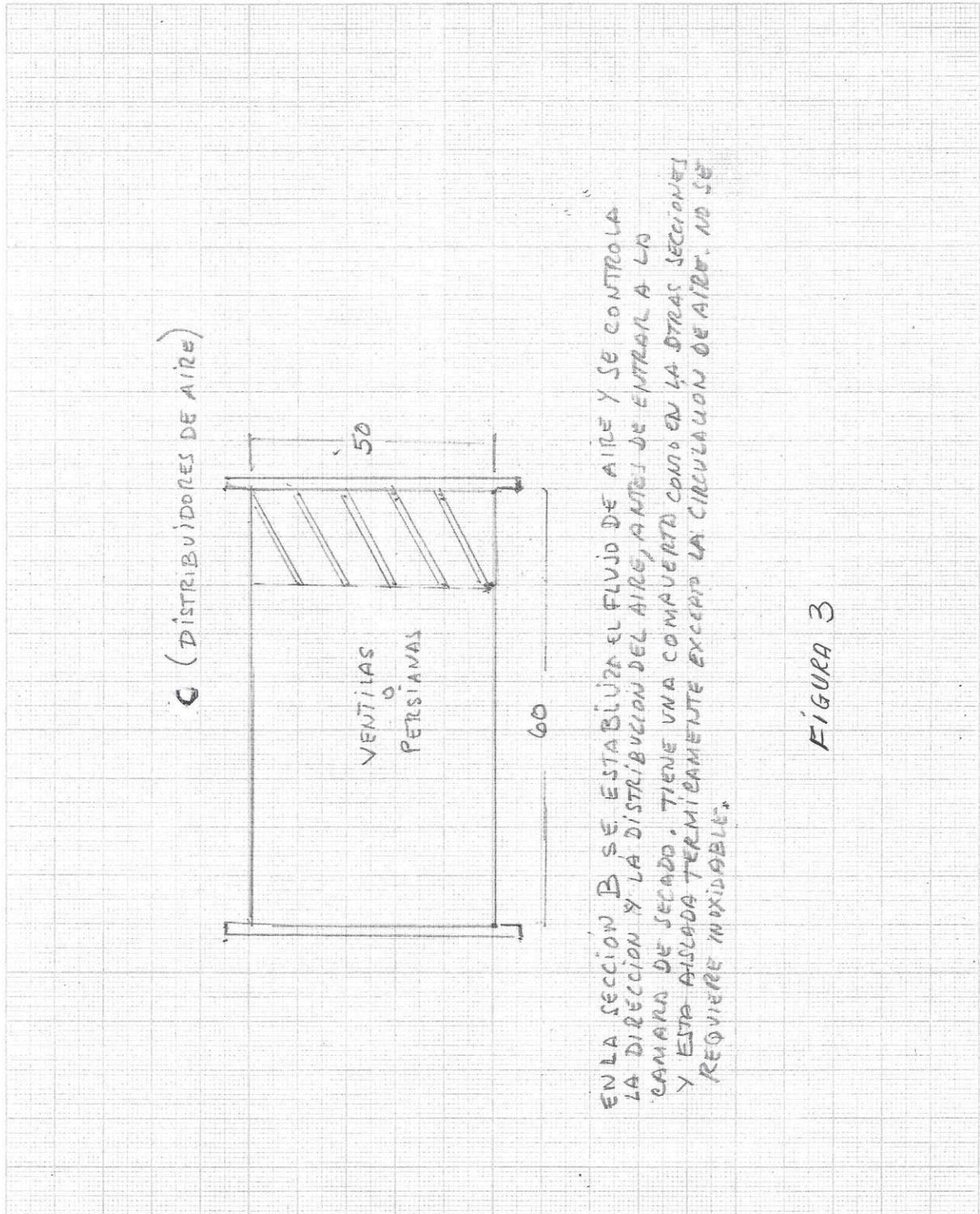


FIGURA 3

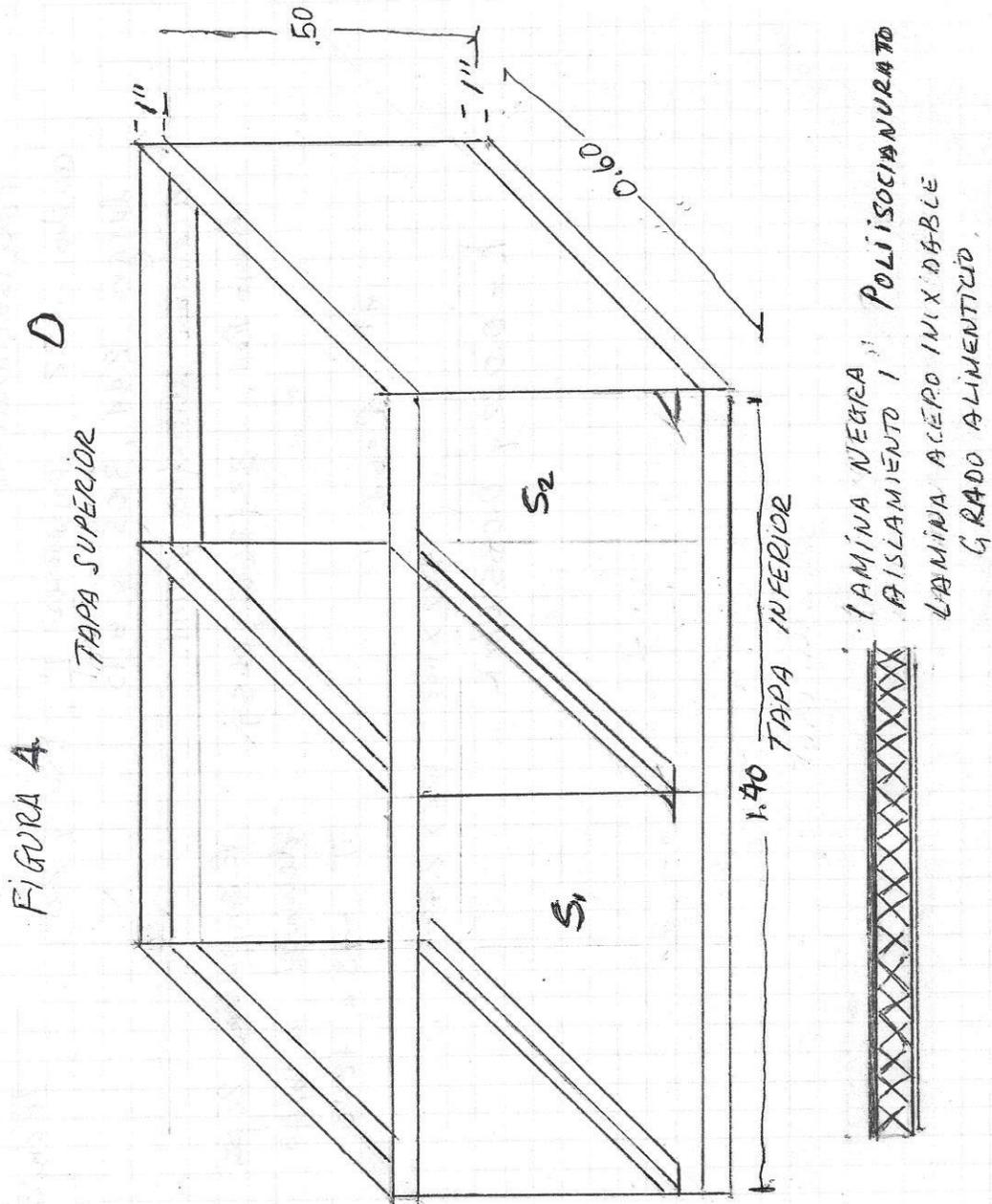
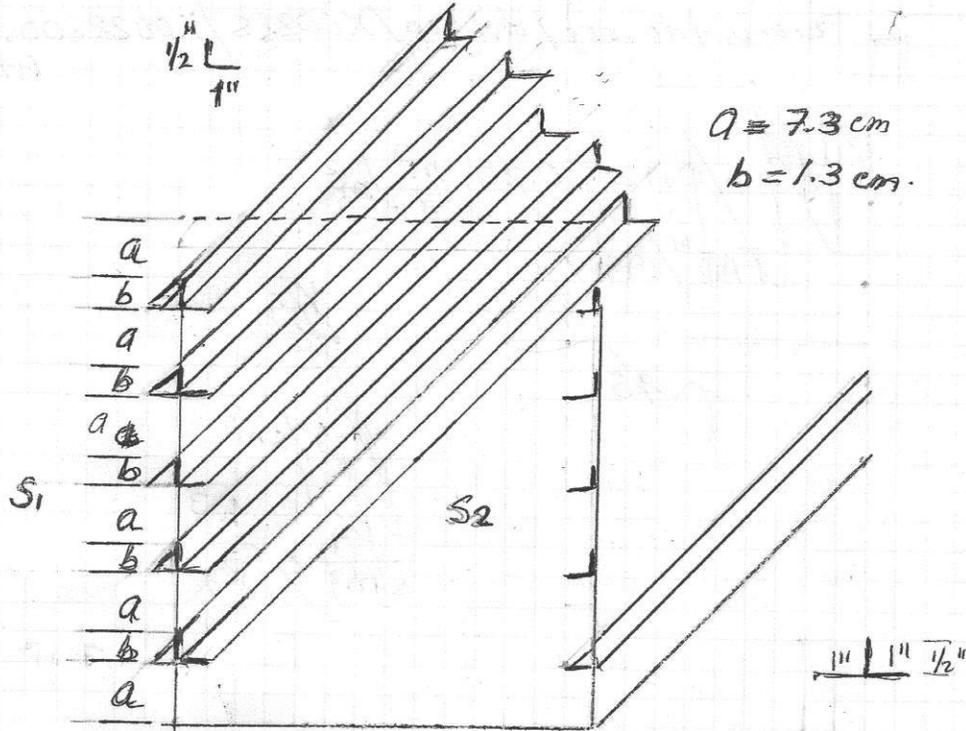
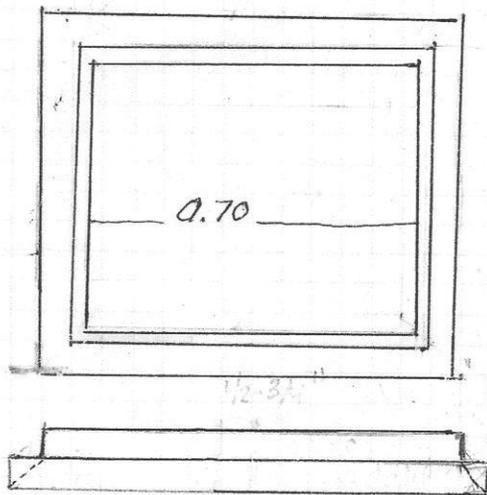


FIGURA 5

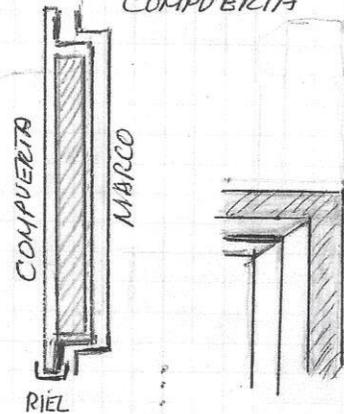
D



MARCO DE COMPUERTAS



COMPUERTA



RIEL PARA LAS COMPUERTAS

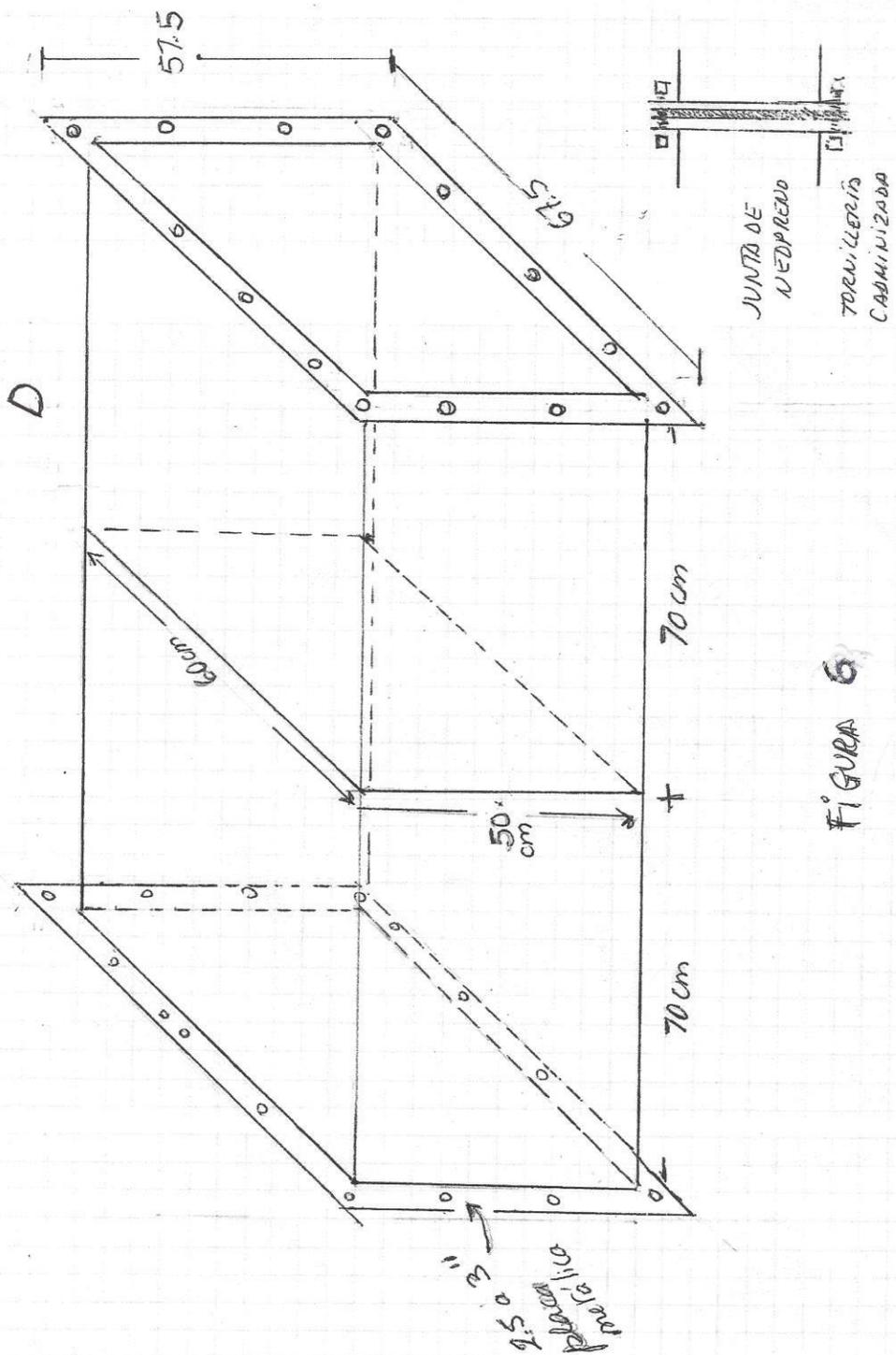


FIGURA 6



Circuitos hidráulicos

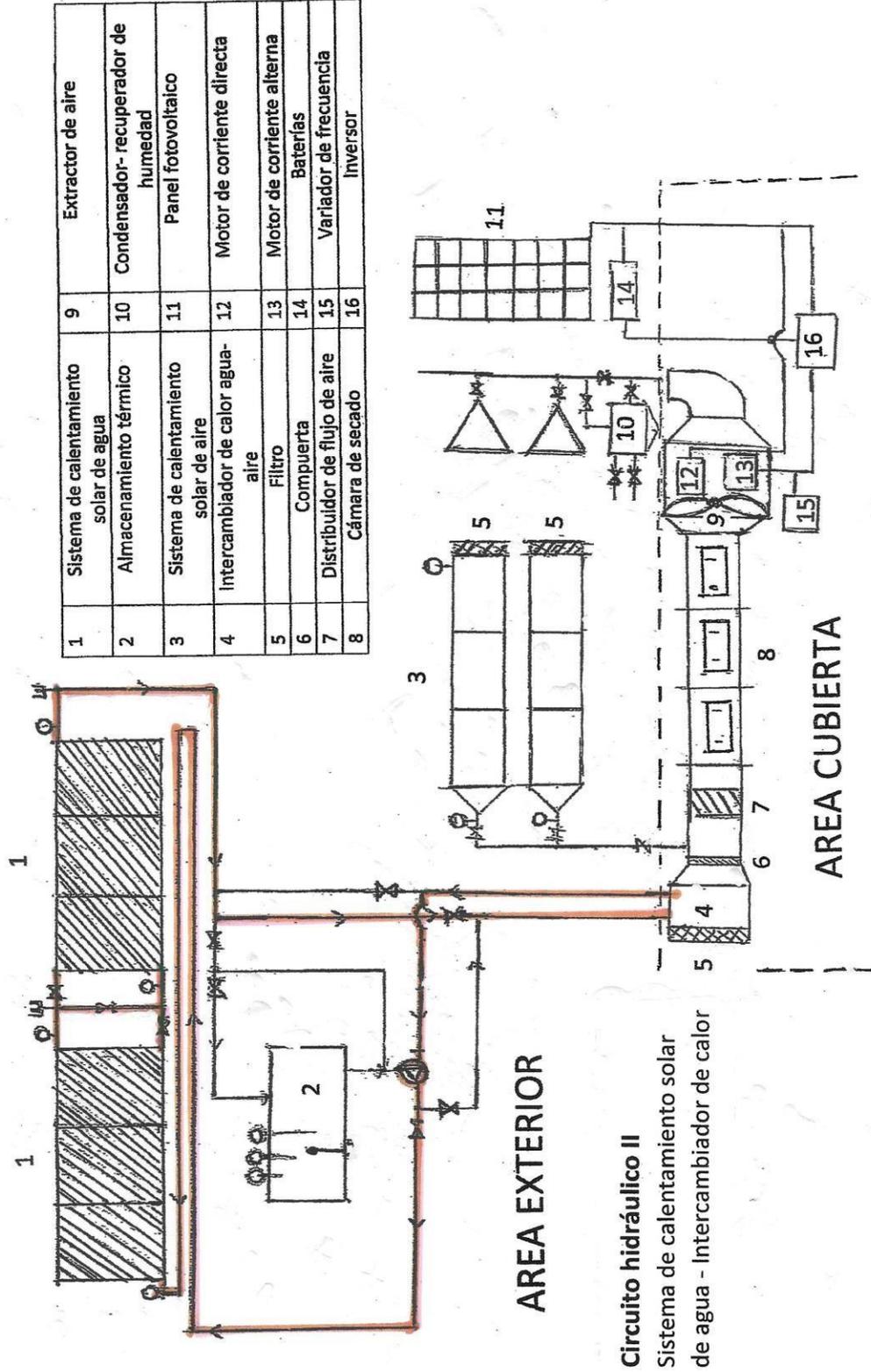
}

5. Circuitos hidráulicos

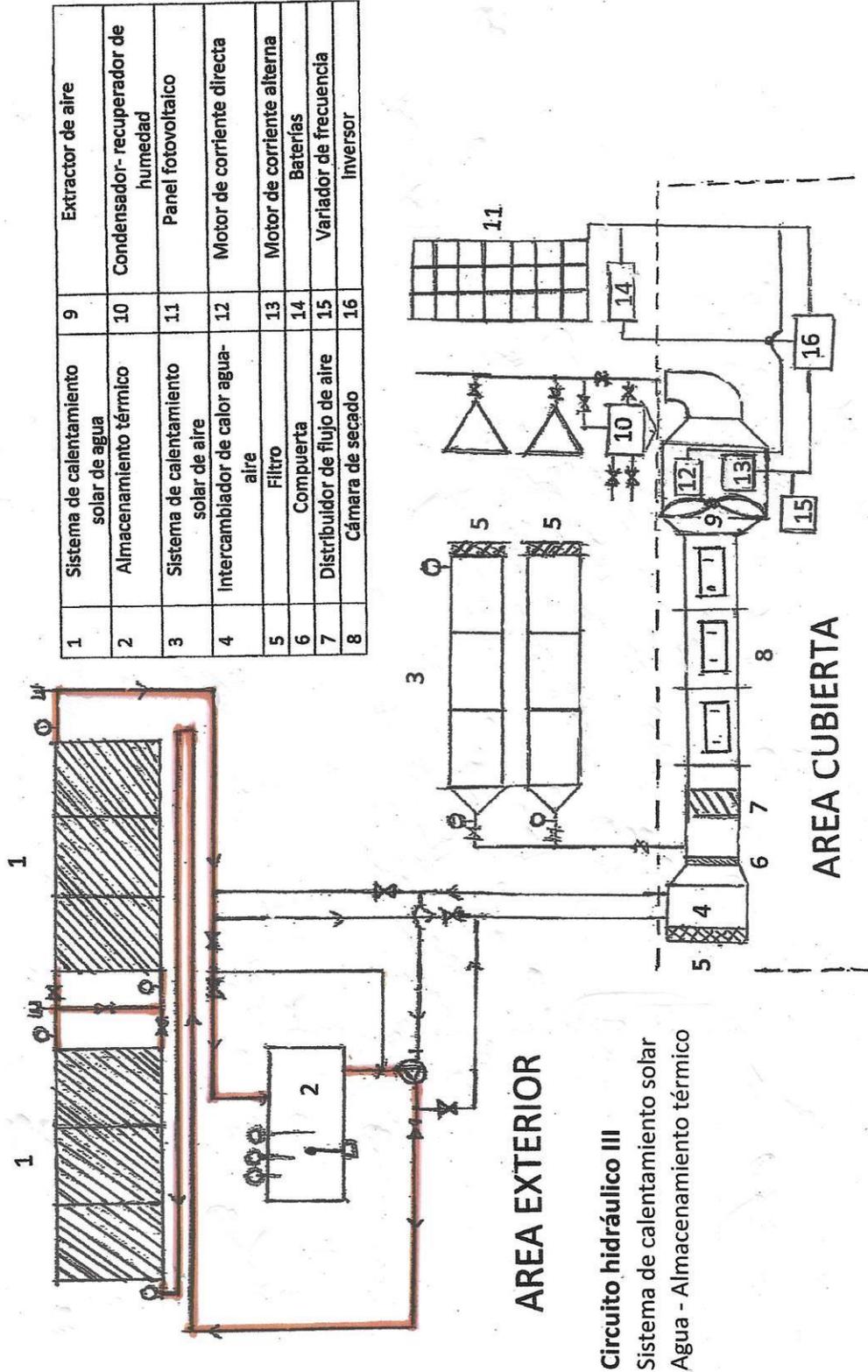
El PESSH está diseñado para realizar siete circuitos hidráulicos cinco con circulación de agua caliente y dos con circulación de aire caliente.

- a) Circuito hidráulico I. Circuito de recirculación de agua a través del campo de calentadores solares de agua.
- b) Circuito hidráulico II. Circuito entre el calentamiento solar de agua y el intercambiador de calor agua-aire.
- c) Circuito hidráulico III. Circuito hidráulico entre el sistema de calentamiento solar de agua y el recipiente de almacenamiento térmico.
- d) Circuito hidráulico IV. Circuito hidráulico entre el recipiente de almacenamiento térmico y el intercambiador de calor aire-agua
- e) Circuito hidráulico V. Circuito de recirculación del recipiente de almacenamiento térmico
- f) Circuito de aire caliente I. Circuito entre el sistema de calentamiento solar de aire y la cámara de secado.
- g) Circuito de aire caliente II. Circuito de recirculación de aire, entre el sistema de calentamiento solar de aire, la cámara de secado, el condensador y recuperador de humedad y el retorno al sistema de calentamiento solar de agua

Prototipo experimental de un secador solar híbrido para el tratamiento de pescado, PESSH



Prototipo experimental de un secador solar híbrido para el tratamiento de pescado, PESSH

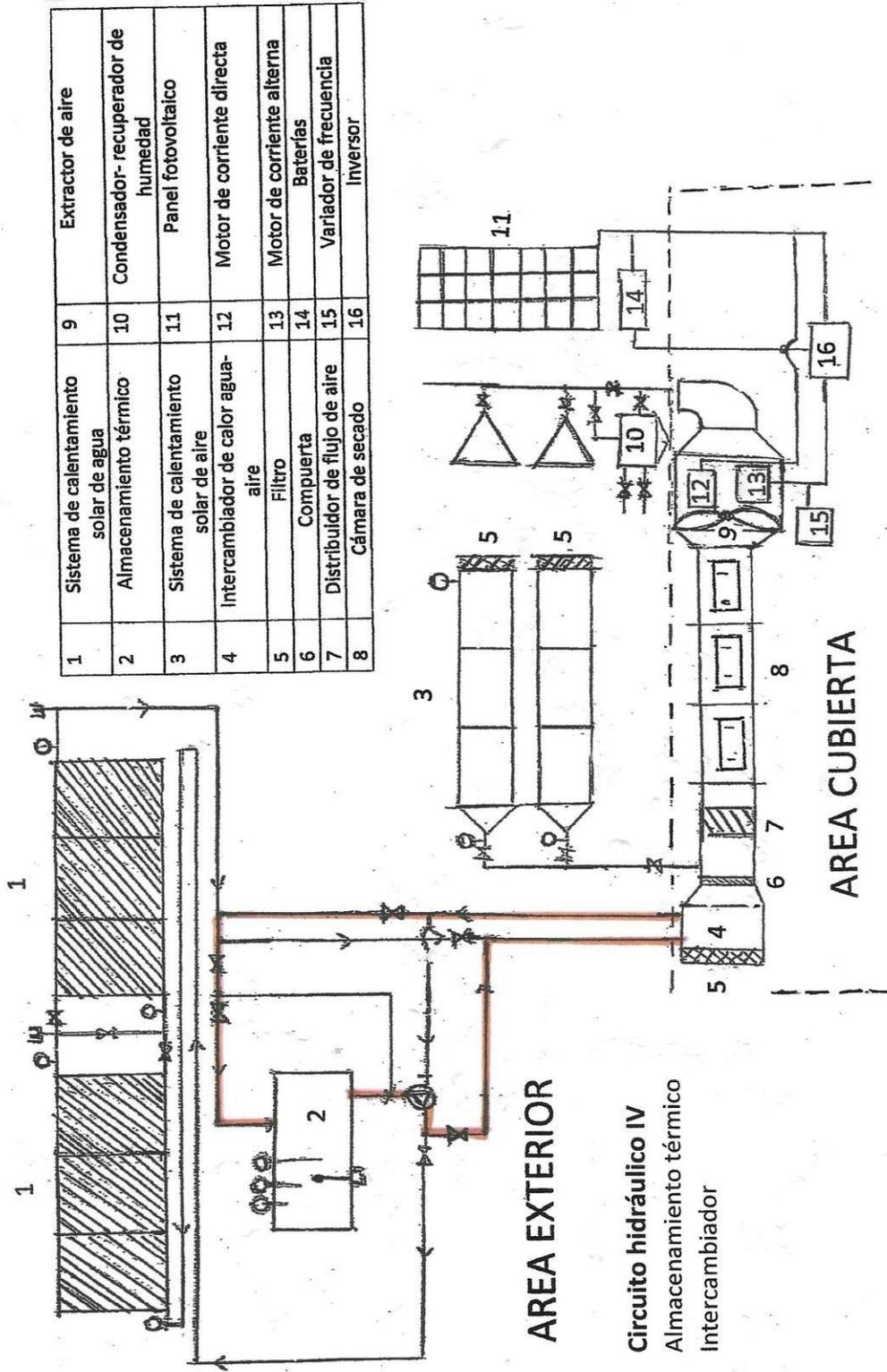


AREA EXTERIOR

Circuito hidráulico III
 Sistema de calentamiento solar
 Agua - Almacenamiento térmico

AREA CUBIERTA

Prototipo experimental de un secador solar híbrido para el tratamiento de pescado, PESSH



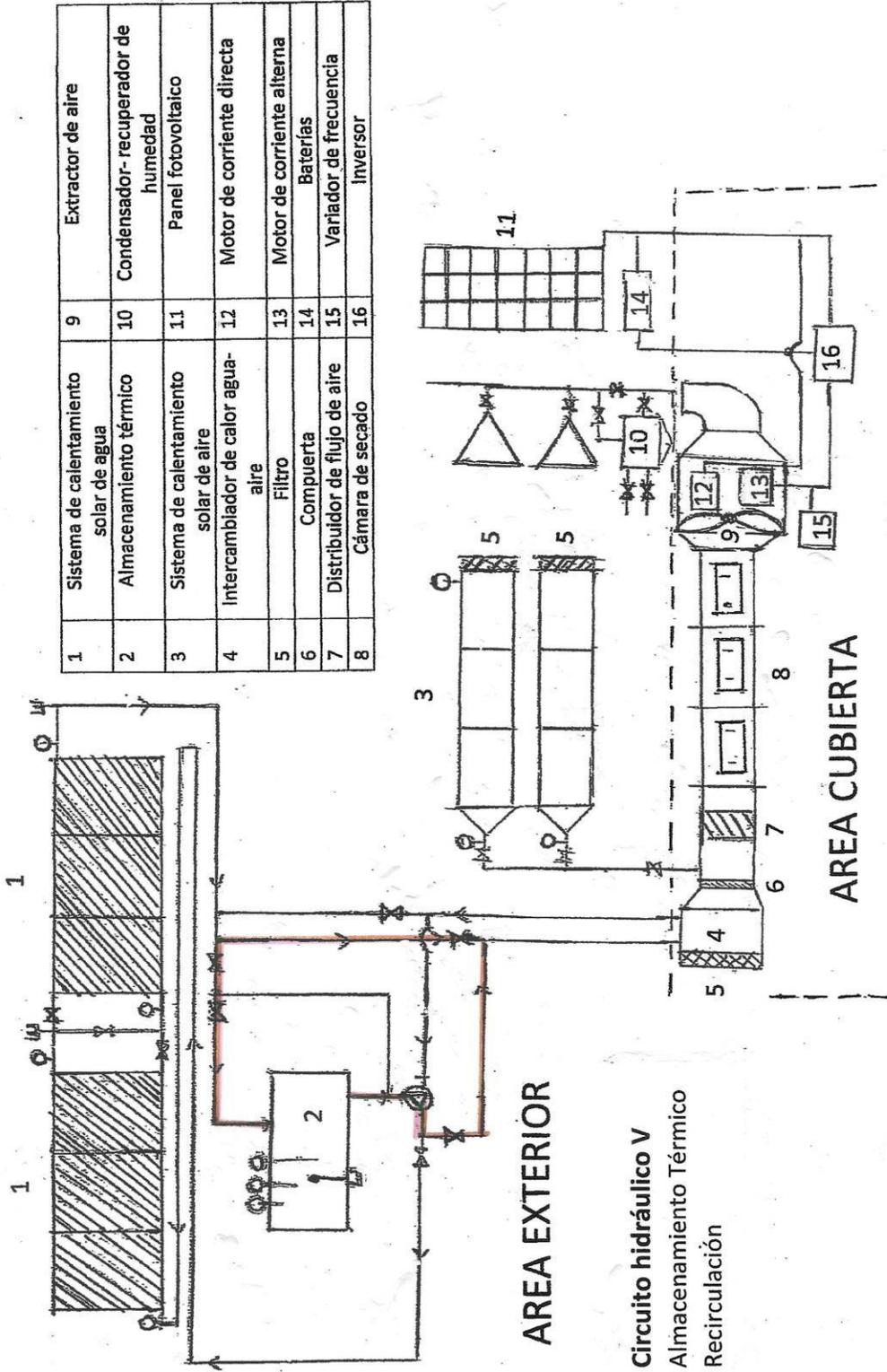
1	Sistema de calentamiento solar de agua	9	Extractor de aire
2	Almacenamiento térmico	10	Condensador- recuperador de humedad
3	Sistema de calentamiento solar de aire	11	Panel fotovoltaico
4	Intercambiador de calor agua-aire	12	Motor de corriente directa
5	Filtro	13	Motor de corriente alterna
6	Compuerta	14	Baterías
7	Distribuidor de flujo de aire	15	Variador de frecuencia
8	Cámara de secado	16	Inversor

AREA EXTERIOR

AREA CUBIERTA

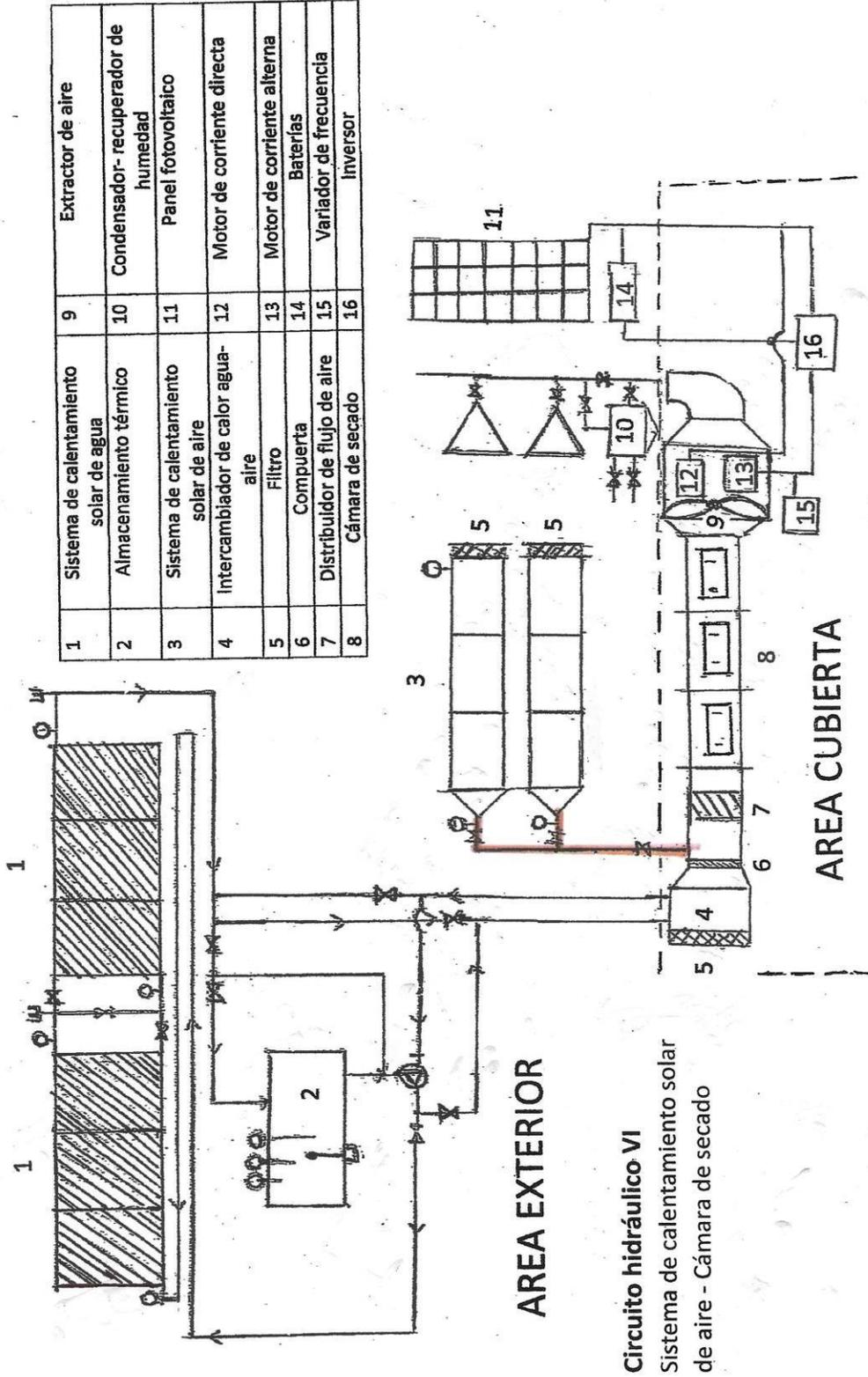
Circuito hidráulico IV
Almacenamiento térmico
Intercambiador

Prototipo experimental de un secador solar híbrido para el tratamiento de pescado, PESSH



1	Sistema de calentamiento solar de agua	9	Extractor de aire
2	Almacenamiento térmico	10	Condensador- recuperador de humedad
3	Sistema de calentamiento solar de aire	11	Panel fotovoltaico
4	Intercambiador de calor agua-aire	12	Motor de corriente directa
5	Filtro	13	Motor de corriente alterna
6	Compuerta	14	Baterías
7	Distribuidor de flujo de aire	15	Variador de frecuencia
8	Cámara de secado	16	Inversor

Prototipo experimental de un secador solar híbrido para el tratamiento de pescado, PESSH

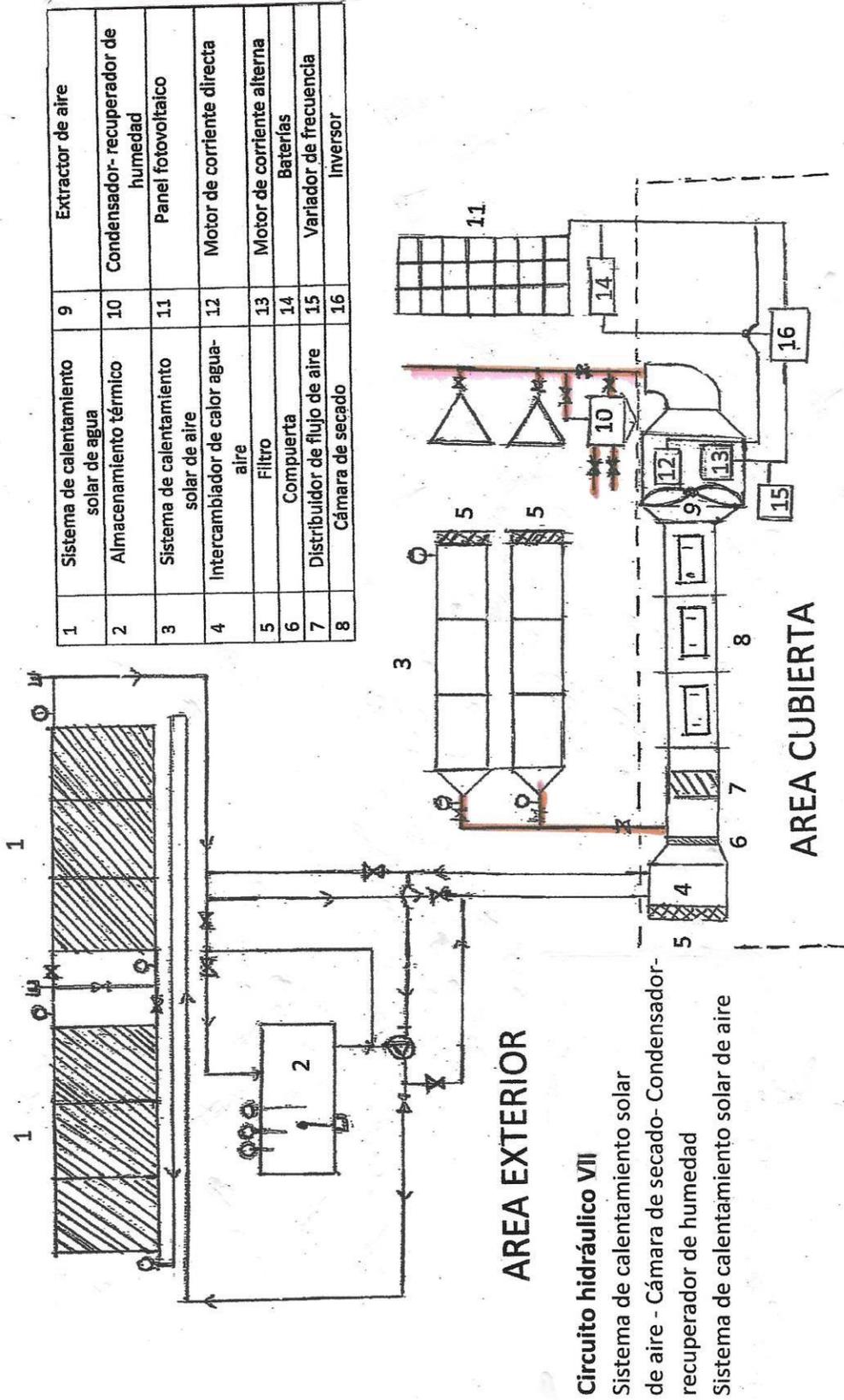


AREA EXTERIOR

AREA CUBIERTA

Circuito hidráulico VI
Sistema de calentamiento solar de aire - Cámara de secado

Prototipo experimental de un secador solar híbrido para el tratamiento de pescado, PESSH



Circuito hidráulico VII
 Sistema de calentamiento solar de aire - Cámara de secado- Condensador-recuperador de humedad
 Sistema de calentamiento solar de agua



Circuitos eléctricos

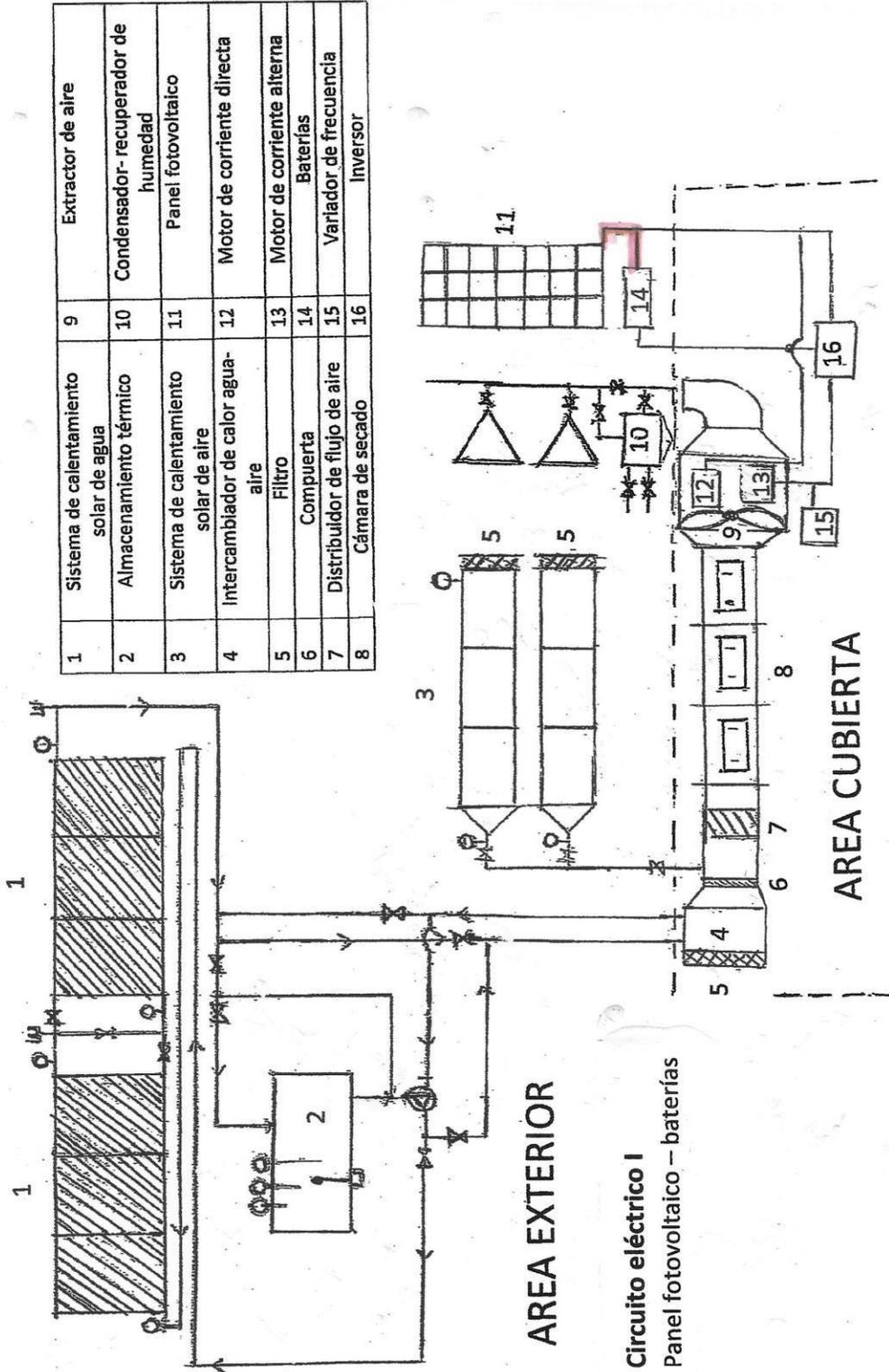


6. Circuitos eléctricos

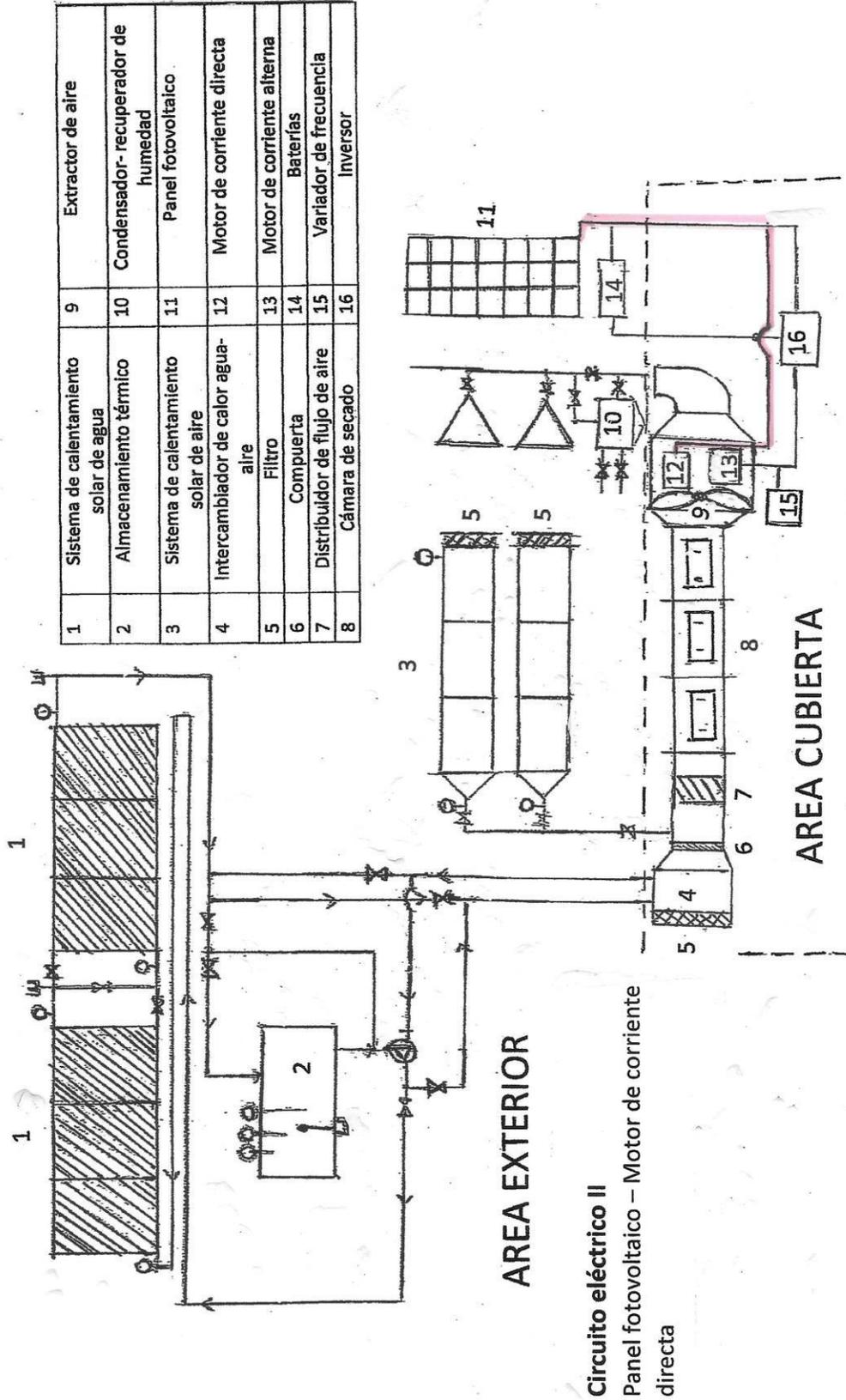
En caso de integrar un sistema solar fotovoltaico mencionado para el suministro eléctrico de los equipos del PESSH, como motor del ventilador, bombas de recirculación, etc. se proponen cinco circuitos eléctricos:

- a) Circuito eléctrico I: Circuito eléctrico entre el módulo fotovoltaico y las baterías (carga).
- b) Circuito eléctrico II: Circuito entre el módulo fotovoltaico y el motor de corriente directa del extractor de aire
- c) Circuito eléctrico III: Circuito eléctrico entre las baterías y el motor de corriente directa del extractor de aire.
- d) Circuito eléctrico IV: Circuito eléctrico entre el módulo fotovoltaico, inversor, variador de frecuencia y motor de corriente alterna del extractor de aire.
- e) Circuito eléctrico V: Circuito eléctrico entre las baterías, variador de frecuencia y el motor de corriente alterna del extractor de aire.

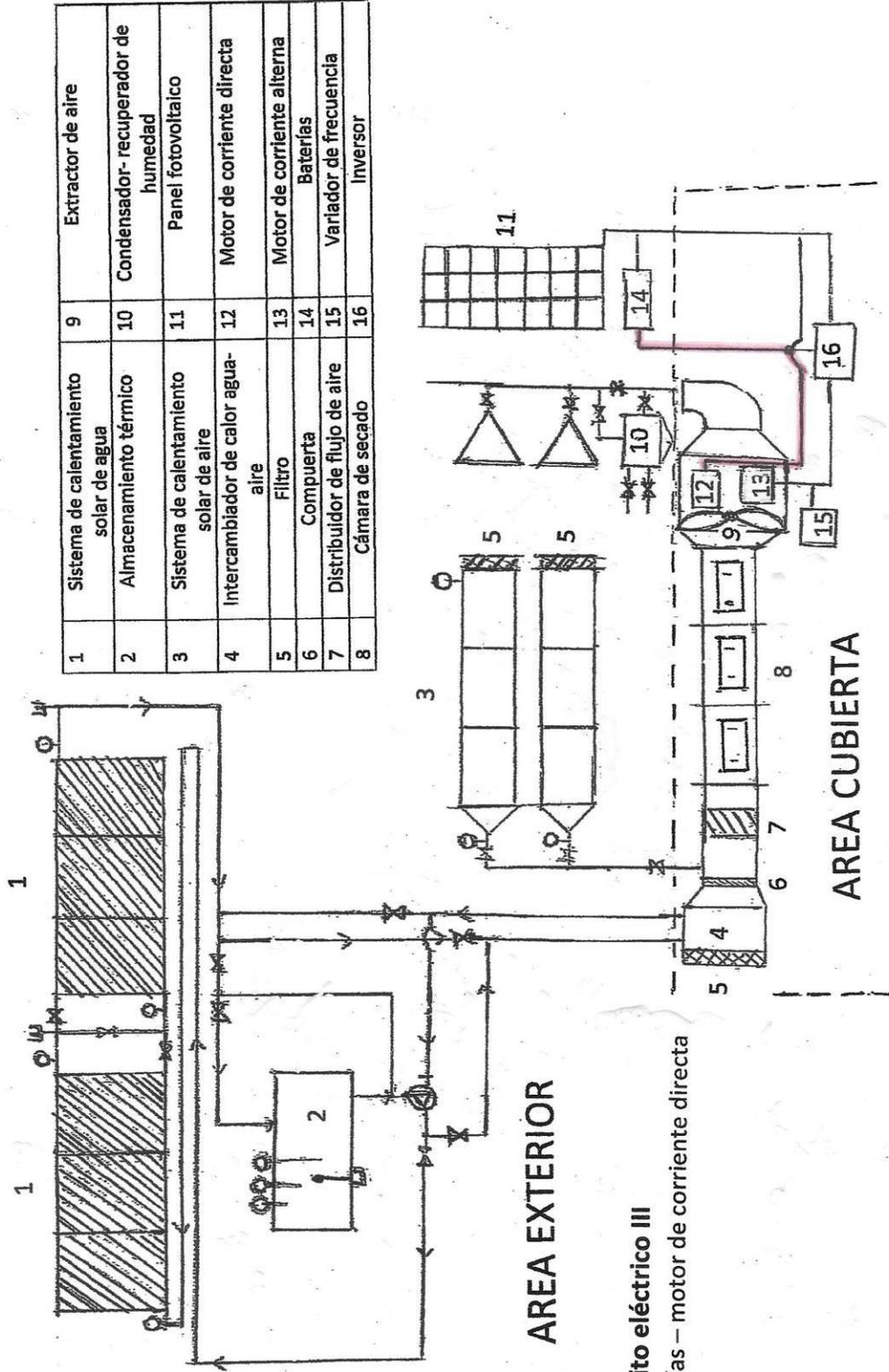
Prototipo experimental de un secador solar híbrido para el tratamiento de pescado, PESSH



Prototipo experimental de un secador solar híbrido para el tratamiento de pescado, PESSH



Prototipo experimental de un secador solar híbrido para el tratamiento de pescado, PESSH



1	Sistema de calentamiento solar de agua	9	Extractor de aire
2	Almacenamiento térmico	10	Condensador- recuperador de humedad
3	Sistema de calentamiento solar de aire	11	Panel fotovoltaico
4	Intercambiador de calor agua-aire	12	Motor de corriente directa
5	Filtro	13	Motor de corriente alterna
6	Computera	14	Baterías
7	Distribuidor de flujo de aire	15	Variador de frecuencia
8	Cámara de secado	16	Inversor

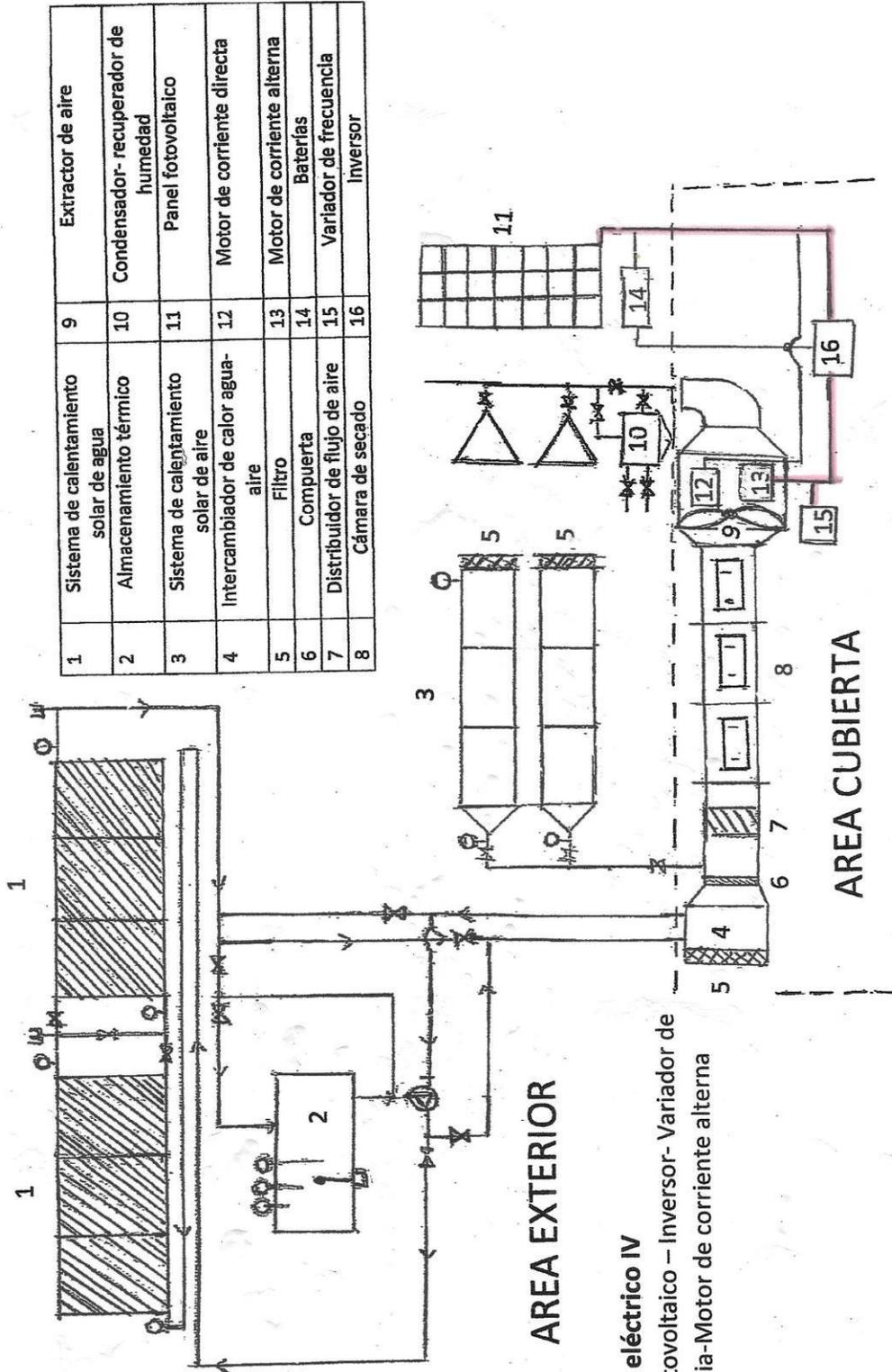
AREA EXTERIOR

AREA CUBIERTA

Circuito eléctrico III

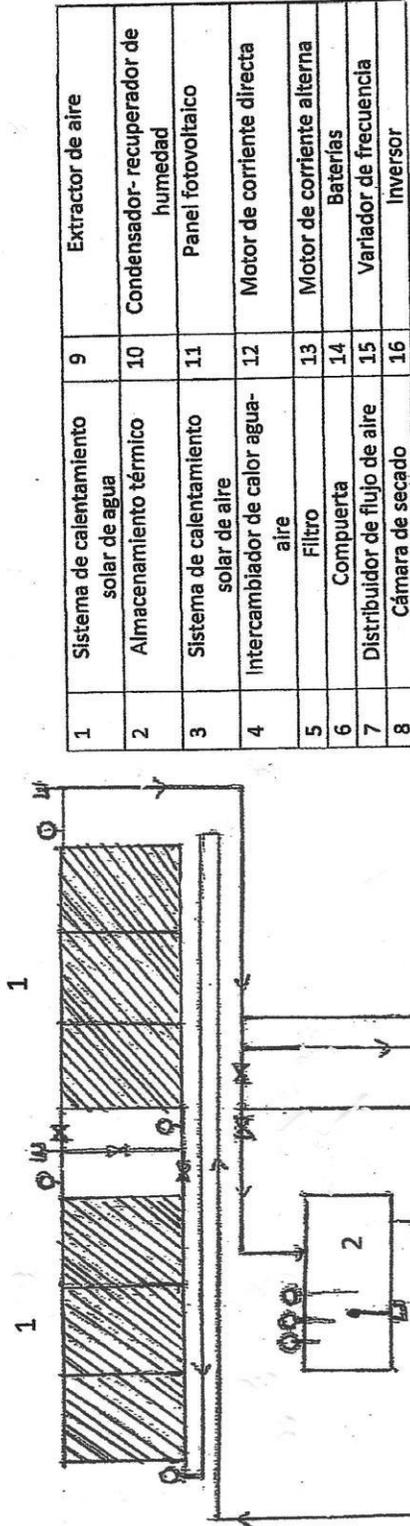
Baterías – motor de corriente directa

Prototipo experimental de un secador solar híbrido para el tratamiento de pescado, PESSH



Circuito eléctrico IV
 Panel fotovoltaico – Inversor- Variador de frecuencia-Motor de corriente alterna

Prototipo experimental de un secador solar híbrido para el tratamiento de pescado, PESSH



1	Sistema de calentamiento solar de agua	9	Extractor de aire
2	Almacenamiento térmico	10	Condensador- recuperador de humedad
3	Sistema de calentamiento solar de aire	11	Panel fotovoltaico
4	Intercambiador de calor agua-aire	12	Motor de corriente directa
5	Filtro	13	Motor de corriente alterna
6	Compuerta	14	Baterías
7	Distribuidor de flujo de aire	15	Variador de frecuencia
8	Cámara de secado	16	Inversor

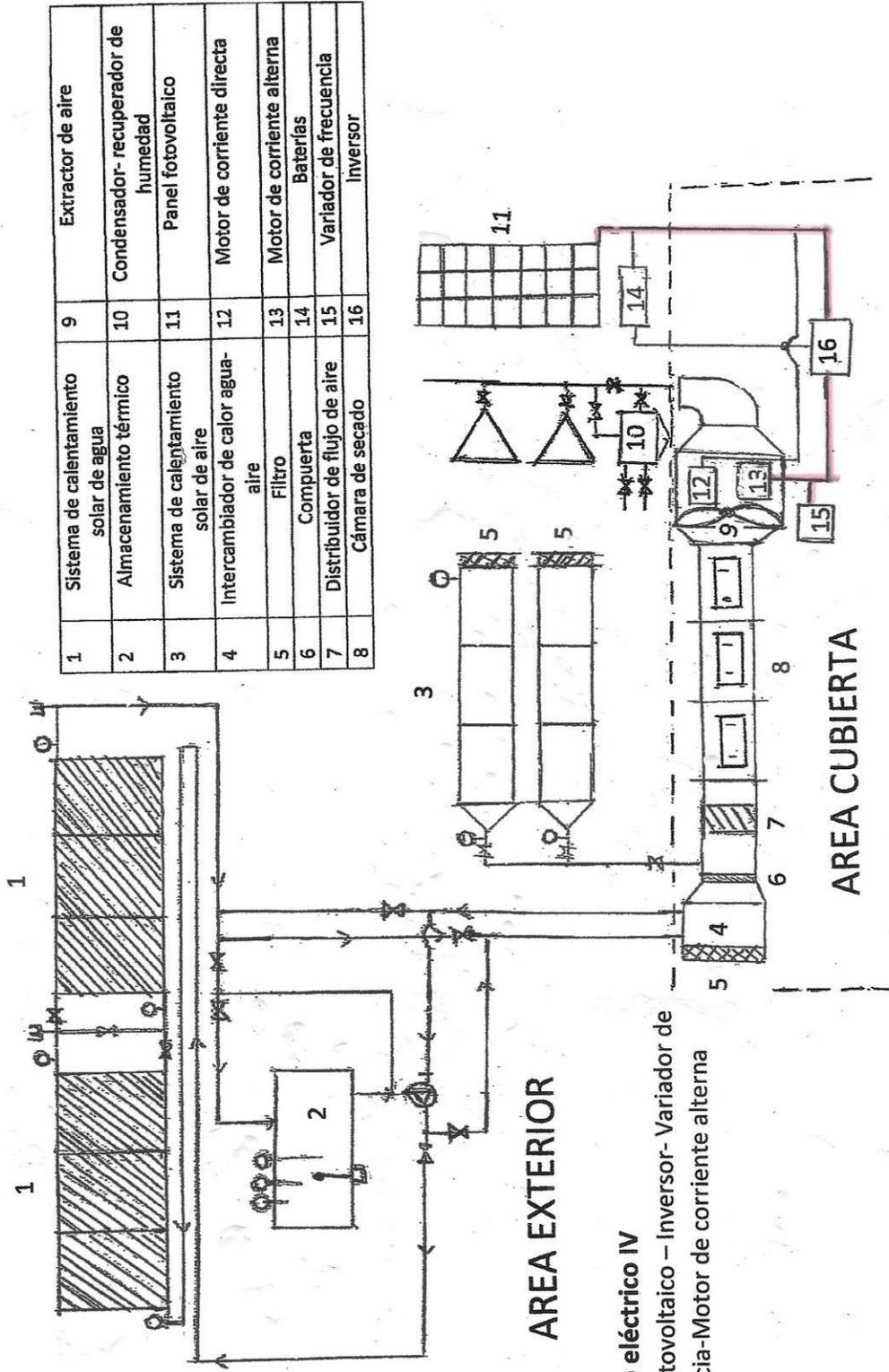
AREA EXTERIOR

AREA CUBIERTA

Circuito eléctrico III

Baterías – motor de corriente directa

Prototipo experimental de un secador solar híbrido para el tratamiento de pescado, PESSH



1	Sistema de calentamiento solar de agua	9	Extractor de aire
2	Almacenamiento térmico	10	Condensador- recuperador de humedad
3	Sistema de calentamiento solar de aire	11	Panel fotovoltaico
4	Intercambiador de calor agua-aire	12	Motor de corriente directa
5	Filtro	13	Motor de corriente alterna
6	Compuerta	14	Baterías
7	Distribuidor de flujo de aire	15	Variador de frecuencia
8	Cámara de secado	16	Inversor

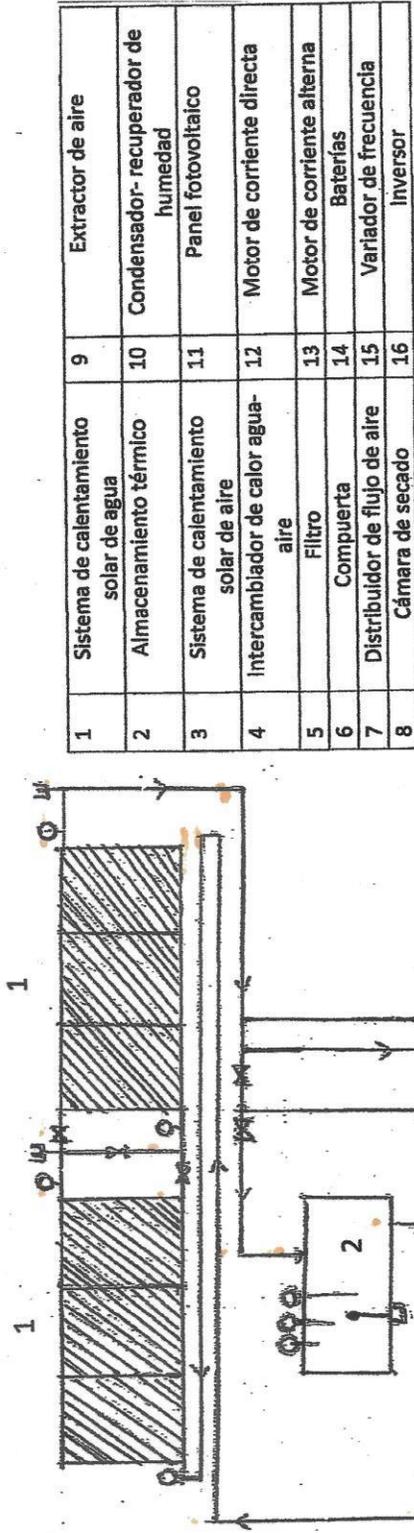
AREA EXTERIOR

AREA CUBIERTA

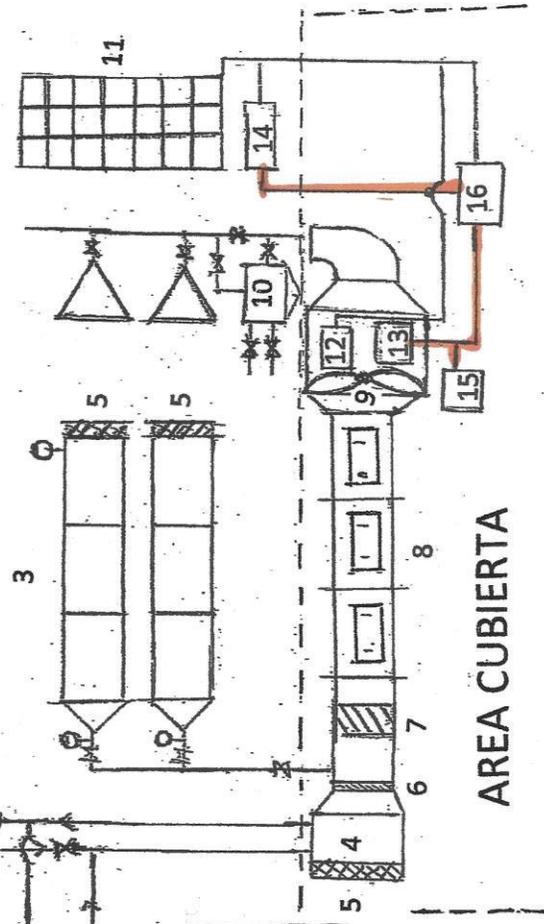
Circuito eléctrico IV
 Panel fotovoltaico – Inversor- Variador de frecuencia-Motor de corriente alterna



Prototipo experimental de un secador solar híbrido para el tratamiento de pescado, PESSH



1	Sistema de calentamiento solar de agua	9	Extractor de aire
2	Almacenamiento térmico	10	Condensador- recuperador de humedad
3	Sistema de calentamiento solar de aire	11	Panel fotovoltaico
4	Intercambiador de calor agua-aire	12	Motor de corriente directa
5	Filtro	13	Motor de corriente alterna
6	Compuerta	14	Baterías
7	Distribuidor de flujo de aire	15	Variador de frecuencia
8	Cámara de secado	16	Inversor



AREA EXTERIOR

AREA CUBIERTA

Circuito eléctrico V
 Baterías – Inversor- Variador de frecuencia
 Motor de corriente alterna