

**Influencia de la capacidad de evaporación en el dimensionamiento de un secador a vapor Rotadiscos.****Influence of the evaporation capacity on the dimensioning of a Rotadisk steam dryer.****Influência da capacidade de evaporação no dimensionamento de um secador a vapor Rotadiscos.**Robert Fabián Guevara Chinchayan<sup>1</sup>, Víctor Edgar Gómez Montenegro<sup>2</sup>, Jenneviene Janet Sosa Sandoval<sup>3</sup>**Resumen**

**Objetivo.** La presente investigación permite determinar la influencia de la capacidad de evaporación en el dimensionamiento de un secador a vapor Rotadiscos. **Materiales y Métodos.** La investigación es de tipo aplicada, cuantitativa, cuenta con dos fases definidas: la de campo y de gabinete. El método y diseño de investigación son descriptivos; donde la población estuvo conformada por la planta de harina de pescado de la empresa CANTARANA S.A.C., (Ex 1313) y la muestra fue la planta de harina de pescado ubicada en la ciudad de Chimbote. **Resultados.** Realizando un comparativo entre diversos valores propuestos de secadores Rotadiscos en función a una capacidad de evaporación de 3,500 kg/h de agua evaporada, se tienen las siguientes características principales: Numero de discos 67, distancia entre discos de 0.13 metros, longitud de secador de 9.511 metros y un diámetro de secador de 1.99 metros con una relación de L/D igual a 4.9, alcanzando un valor de velocidad de 10.9 rpm, con un valor de la transferencia de calor real igual a 388.27 m<sup>2</sup>, este último valor es cercano al valor previsto de 385 m<sup>2</sup>, con un margen de error de 0.97%. **Conclusión.** Se realizó un balance de materia en la Planta de 120 Ton/h de capacidad de la Empresa Corporación Pesquera 1313 S.A, determinándose un valor de 28.5 Ton/h de agua evaporada a obtenerse durante el proceso de secado con secadores del tipo Rotadiscos. Se determinó el área de calentamiento igual a 380 m<sup>2</sup>, en el cual se cumple con una capacidad de evaporación de 3,500 kg/h de agua evaporada en 8 secadores a vapor del tipo Rotadiscos, con el cual se cumple con el factor K establecida en la normatividad peruana, según RD N° 091-2002-PE-DNEPP, con un valor de 26.316.

**Palabras clave:** Capacidad de evaporación, secado a vapor.

**Abstract**

**Objective:** The present investigation allows the determination of the influence of the evaporation capacity on the dimensioning of a Rotadiscos steam dryer. **Materials and methods:** The research is of an applicative, quantitative type. It has two defined phases: the field and the cabinet phases. The research method and design are descriptive; where the population was made up of the fishmeal plant of the company CANTARANA S.A.C., (Ex 1313) and the sample was the fishmeal plant located in the city of Chimbote. **Results:** Making a comparison between various proposed values of Rotadiscos dryers based on an evaporation capacity of 3,500 kg / h of evaporated water, they have the following main characteristics: Number of discs 67, distance between discs of 0.13 meters, dryer length of 9,511 meters and a dryer diameter of 1.99 meters with an L / D ratio equal to 4.9, reaching a speed value of 10.9 rpm, with a value of the actual heat transfer equal to 388.27 m<sup>2</sup>, this last value is close to the value expected 385 m<sup>2</sup>, with a margin of error of 0.97%. **Conclusion.** A material balance was carried out in the Plant of 120 Ton / h of capacity of the Corporation Pesquera 1313 S.A Company, determining a value of 28.5 Ton / h of evaporated water to be obtained during the drying process with Rotadiscos type dryers. The heating area equal to 380 m<sup>2</sup> was determined, which complies with an evaporation capacity of 3,500 kg / h of evaporated water in 8 Rotadiscos type steam dryers, with which the K factor established in the Peruvian regulations, according to RD N ° 091-2002-PE-DNEPP, with a value of 26,316.

**Keywords:** Evaporation capacity, steam drying

**Resumo**

**Objetivo.** A presente investigação permite determinar a influência da capacidade de evaporação no

<sup>1</sup> Escuela de Ingeniería en Energía. Maestro. Universidad del Santa. Chimbote. Perú. guevara281165@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0002-3579-3771>

<sup>2</sup> Jefatura de Planta Empresa CANTARANA S.A.C. Chimbote. Perú. Edar20@hotmail.com.

<sup>3</sup> Facultad de Educación y humanidades. Doctora. Universidad del Santa. jsosa@uns.edu.pe <https://orcid.org/0000-0002-8200-7577>

dimensionamiento de un secador a vapor Rotadiscos. **Materiais e métodos.** A pesquisa é do tipo quantitativo e aplicativo, possui duas fases definidas: a de campo e a de gabinete. O método e o design da pesquisa são descritivos; onde a população era composta pela fábrica de farinha de peixe da empresa CANTARANA S.A.C. (Ex 1313) e a amostra foi a fábrica de farinha de peixe localizada na cidade de Chimbote. **Resultados.** Fazendo uma comparação entre os vários valores propostos para os secadores Rotadiscos, com base em uma capacidade de evaporação de 3.500 kg/h de água evaporada, eles apresentam as seguintes características principais: Número de discos 67, distância entre os discos de 0,13 metros, comprimento do secador de 9.511 metros e diâmetro do secador de 1,99 metros com uma relação L / D igual a 4,9, atingindo um valor de velocidade de 10,9 rpm, com um valor de transferência de calor real igual a 388,27 m<sup>2</sup>, esse último valor está próximo do valor esperado 385 m<sup>2</sup>, com margem de erro de 0,97%. **Conclusão.** Foi realizado um balanço de materiais na Usina de 120 Ton/h de capacidade da Corporación Pesquera 1313 S.A Company, determinando um valor de 28,5 Ton/h de água evaporada a ser obtida durante o processo de secagem com secadores do tipo Rotadiscos. Foi determinada a área de aquecimento igual a 380 m<sup>2</sup>, na qual é atingida uma capacidade de evaporação de 3.500 kg / h de água evaporada em 8 secadores a vapor do tipo Rotadiscos, com os quais o fator K establecido no Reglamentos peruanos, de acordo com o RD N° 091-2002-PE-DNEPP, com um valor de 26.316.

**Palavras-chave:** Capacidad de evaporación, secagem a vapor

## Introducción

El presente trabajo de investigación permite determinar la influencia entre la capacidad de evaporación con el dimensionamiento de un secador Rotadiscos utilizado en las Empresas de Harina de Pescado del Tipo Prime, los cuales, actualmente, se dimensionan según lo normado por la R.D N° 9212002 PE-DNEPP, y por el cual se enuncia tan solo ecuaciones para los cálculos de transferencia de calor y geometría del secador, pero no se detalla la capacidad de evaporación, lo que representa la cantidad de flujo de másico de vapor y la fracción de humedad que debe retirarse del proceso de secado a partir de un balance de masas. Permite relacionar parámetros técnicos como la capacidad de evaporación, con otros normativos establecidos para aspectos constructivos, en estos últimos, la normativa no detalla su origen. Permite tener una metodología de dimensionamiento de secadores a vapor que involucre los balances de materia y energía, muy utilizados en todas las empresas productoras de harina de pescado como herramienta de control de producción y no como un punto de partida para el diseño de un equipo térmico.

La operación de secado es una operación de transferencia de masa de contacto gas- sólido, donde la humedad contenida en el sólido se transfiere por evaporación hacia la fase gaseosa, en base a la diferencia entre la presión de vapor ejercida por el sólido húmedo y la presión parcial de vapor de la corriente gaseosa. En particular, el secado de sólidos comienza cuando se establece un flujo de moléculas de agua desde el interior del sólido hacia el seno de aire, formándose así un gradiente de humedad entre la superficie del sólido y el interior del mismo. Este gradiente actúa como la fuerza impulsora de las moléculas de agua, que las lleva hasta la interfase sólido-aire. Cuando las dos presiones se igualan, se dice que el sólido y el gas están en equilibrio y el proceso de secado cesa. (Arango Bedoya,2013)

En la investigación de Duran Oscuez, Geovanny (2014), concluye que un secador del tipo rotativo En la primera parte del estudio, se realiza un análisis termodinámico es un cilindro metálico giratorio dispuesto de manera horizontal con o sin inclinación, por el cual pasa un fluido caliente para extraer la humedad del producto. En el interior del cilindro, se encuentran montadas unas paletas que recogen el material granular desde el fondo y lo descargan hacia la corriente de aire para formar una cascada de partículas del secador para obtener el flujo másico y las propiedades del aire requerido para secar una determinada de una mezcla con un determinado grado de humedad. Durante su recorrido, se determina la tasa de transferencia de calor y masa en pasos de tiempo definidos registrando las variaciones de las propiedades del fluido a secar y al sumar los desplazamientos sucesivos de la partícula a secar se determina la longitud del secador.

Pineda Alfaro (2013) en su trabajo de investigación, resume que el sistema de secado propuesto consta del mismo ventilador para mover el aire caliente hacia la cámara de secado, para que este pueda atravesar el grano que desciende en forma de cortina, el cambio radica en la forma en que se genera el aire. La presión de vapor es una variable crítica tanto para que el proceso se lleve a cabo eficientemente, como

para la seguridad del personal operativo. La presión de trabajo en el manifold debe permanecer en el rango de 140 a 150 PSI, para un adecuado funcionamiento de los equipos. La temperatura del aire caliente que ingresa a la cámara de secado es crítica para que el proceso de secado sea adecuado, ya que de esta depende la eficiencia del secado. La temperatura de trabajo debe estar en el rango de 33 a 37 °C.

Vallejos Romaña (2013) presenta en su tesis el modelo matemático de un secador rota disco basado en las ecuaciones de conservación de la masa y la energía aplicado a la industria pesquera, el cual se valida con datos reales de dos plantas ubicadas en el Norte del Perú. También se realizó un control predictivo lineal, el mismo ha sido probado para disturbios en la humedad de entrada al secador y flujo del mix de secado.

De igual manera, Aceijas Pajares (2011) en su tesis, resume que se optimiza el diseño existente de un secador indirecto a vapor Rotatubos de uso en la industria de harina de pescado, para aumentar su capacidad a 40 Ton/H en materia prima, que demanda el sector pesquero nacional. Se innova los componentes del sistema de suministro de vapor y recuperación de condensado; y para la nueva capacidad se dimensiona el equipo optimizado considerando información práctica y normas de ingeniería con modernas herramientas CAD/CAM. Así mismo, se verifica la resistencia mecánica de la estructura del secador optimizado aplicando el método de elementos finitos para el análisis de esfuerzos y deformaciones

Asimismo, Corpus Saldaña y López Contreras (2015) determinaron que existe una influencia entre variables del proyecto (presión de vapor y construcción de un caldero pirotubular) según lo siguiente de la presión de operación en la selección de la presión de diseño y en la selección de los componentes sometidos a presión del caldero, así como de los esfuerzos mecánicos, incrementándose los valores comerciales de los materiales del hogar, cuerpo del caldero y del espejo a medida que se incrementa la presión de diseño. Así mismo los esfuerzos mecánicos se incrementan conforme se incrementa la presión de diseño. Los cálculos se han determinado para un valor de presión de diseño de 6 kgf/cm<sup>2</sup>, obteniéndose para el sistema de alimentación de agua, un tanque de alimentación diaria de agua de 11.856 m<sup>3</sup>, con una longitud de 5.14 m y un diámetro de 1.713 m. Mientras que la Potencia eléctrica de la bomba de agua es de 1.075 KW. Para la chimenea se ha determinado, una estructura de 5.89 m y una sección de 0.42 m, valores con los cuales se consigue un tiro natural óptimo para los gases de la combustión.

La capacidad de evaporación o tasa de secado se define como la cantidad de agua evaporada por hora por el área de la superficie de secado, es un parámetro de diseño que permite el dimensionamiento de un secador del tipo rotativo. La superficie de secado se define como el área de transferencia de calor por donde fluye el elemento calo portador (vapor saturado o aire caliente), puede estar dado por placas planas, discos o a través de tuberías, todo esto en relación a la masa de agua evaporada o desprendida de la materia prima o producto inicial a secar desde una humedad inicial hacia una humedad final. La capacidad de evaporación se expresa en el sistema internacional en kilogramos por metro cuadrado, según la temperatura media del vapor saturado o aire caliente aplicado en el proceso de secado (Pereira,2013)

En general, la capacidad de secado es un parámetro, quizás el más utilizado en el desempeño de las secadoras. Interviene en casi todos los cálculos, para proyectos y en los costos de secado de diversos productos. La capacidad de secado va relacionada con el diseño y tamaño de la secadora y la configuración de sus elementos tal como número de tubos, diámetros, tipo de cedula si se considera un secador de tubos o el diámetro de un rotor, diámetro de discos, espesor de disco, espesor de plancha, espaciado entre discos para un secador de discos. Para determinar la capacidad de secado es necesario determinar las dimensiones de la secadora y para esto previamente de involucrarse un balance de masas y energía. (Manrique, 2008)

De esta forma, la presente investigación evalúa la influencia de la capacidad de evaporación en el dimensionamiento de un secador a vapor Rotadiscos, previo a ello se desarrollaron los siguientes objetivos: Determinar el Área de calentamiento y dimensiones de un secador Rotadiscos, aplicando la normatividad establecida en el Perú, según RD N° 091-2002-PEDNEPP, Realizar un benchmarking entre secadores de distinta capacidad de evaporación para determinar el dimensionamiento óptimo técnico y económico, Determinar los esfuerzos mecánicos de los elementos sometidos a presión dentro

del secador Rotadiscos, Dimensionar los componentes auxiliares y Evaluar la rentabilidad de la construcción de los secadores Rotadiscos

### Materiales y métodos

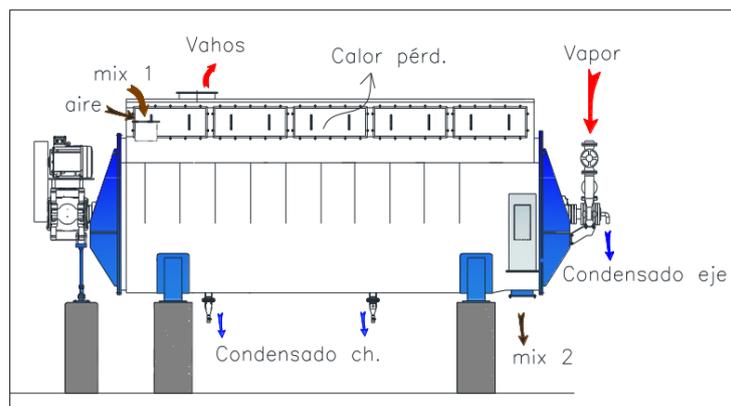
La presente investigación tuvo carácter descriptivo. La población de estudio estuvo conformada por la planta de Harina de pescado de la empresa Ex-1313 SAC, y la muestra por la planta de Harina de pescado ubicada en la ciudad de Chimbote. El muestreo fue de tipo no probabilístico por conveniencia.

La variable independiente “capacidad de evaporación” fue operacionalizado mediante los siguientes indicadores: flujo másico del mix a secar, presión de operación del vapor saturado y el área de calentamiento del secador. La variable dependiente “dimensionamiento del secador rotadiscos” se operacionalizó mediante los indicadores: longitud del secador, diámetro de los discos, longitud de paso entre discos, esfuerzos mecánicos de diseño y potencia del motor eléctrico de accionamiento del secador.

La presente investigación se realizó en diferentes fases, según la siguiente secuencia: as cuales fueron:

- Se realiza inicialmente un balance de materia para determinar el valor exacto de la materia prima entrante en el secador a vapor Rotadiscos, tal como se detalla en ítems anteriores los cálculos se realizan para un secador de 30 Toneladas de capacidad/hora.
- Se determina la capacidad de evaporación en función a los porcentajes de humedad entrante de la materia prima a secar y de la harina de pescado a obtener, esto se realiza a través de un balance de energía.
- A partir de un análisis energético y partiendo de la capacidad de evaporación determinar el Área de transferencia de calor efectiva del secador a vapor Rotadiscos.
- Realizar el dimensionamiento geométrico del secador a partir de las ecuaciones establecidas por la RD N° 091-2002-PE-DNEPP, determinándose longitud de eje, espacio entre discos, diámetro de discos, etc.
- Determinar los esfuerzos mecánicos a los que se somete el secador a vapor Rotadiscos, calculando los momentos flectores, cargas dinámicas, momentos de inercia y esfuerzos por torsión, elementos complementarios y sistemas de transmisión de potencia.
- Se realizan gráficos comparativos del dimensionamiento del secador para una misma capacidad de evaporación, pero variando distintos parámetros geométricos, para hallar la influencia de una variable a otra.
- Se realiza la evaluación económica, determinando el VAN y el TIR.

### Metodología del cálculo



**Figura 1.** Esquema general externo de un secador a vapor rotadiscos

Potencia calorífica para calentar el mix.

$$\dot{Q}1 = \dot{m}_{mix} * Ce_{mix} * (T_f - T_i)_{mix} \dots \dots (1)$$

Potencia calorífica para calentar el agua contenida en el mix y evaporarla

$$\dot{Q}2 = m_w * Ce_w * (T_f - T_i)_w + m_w * \Delta h_{fg} \dots \dots (2)$$

Potencia calorífica utilizada para calentar el material del secador.

$$\dot{Q}3 = N * A_{tc} * U * (T_{is} - T_{amb}) \dots \dots \dots (3)$$

El coeficiente global de transferencia de calor (U) se evalúa según la siguiente ecuación obtenido del texto de Procesos de Transferencia de Calor de Donald Kern.

$$U = 8.4 + 0.06 * (T_{ext} - T_{amb}) \dots \dots (4)$$

Potencia calorífica por pérdidas por transferencia de calor de radiación.

$$\dot{Q}4 = A_{LTC} * U_{TTC} * (T_{ext} - T_{amb}) \dots \dots (5)$$

Para los secadores a vapor indirecto tipo Rotadiscos se tiene las siguientes ecuaciones, para la capacidad efectiva del secador:

$$CAP = \frac{\text{Area de calentamiento (m}^2\text{)}}{K \frac{\text{m}^2}{\text{Ton/h}}} \dots \dots (6)$$

Dónde:

- CAP = Capacidad efectiva del secador en Ton/h
- A = Área de calentamiento (m<sup>2</sup>)
- K = 25.5 m/ ton/h, Promedio de 23 a 28 m<sup>2</sup> / t/h

Para el cálculo del área de calentamiento:

$$A = A_e + A_d + A_{ch} \dots \dots \dots (7)$$

Dónde:

- A<sub>e</sub> = Área del eje.
- A<sub>d</sub> = Área de los discos
- A<sub>ch</sub> = Área de chaqueta.

Para el cálculo de la capacidad de evaporación esperada Cs (kg/h-m<sup>2</sup>), que es uno de los parámetros más importantes para el dimensionamiento del secador, debido a que relaciona la transferencia de calor del equipo con el área de transferencia de calor del equipo:

$$Cs = \frac{W2}{A} \dots \dots \dots (8)$$

Dónde: W2 = Capacidad de evaporación del secador o cantidad de agua a evaporar.

El diseño mecánico hace referencia al diseño de objetos o sistemas de naturaleza mecánica, es decir, piezas, estructuras, mecanismos, dispositivos, máquinas e instrumentos con fines diversos. El diseño mecánico se basa en estudios sobre cuestiones como el límite de fluencia de los materiales y el valor de esfuerzo aplicado con el cual los materiales comienzan a deformarse de forma permanente. (Axayacatl,2013)

Para el cálculo del momento flector  $M_f$ :

$$M_f = \frac{\text{Peso} * \text{distancia de apoyo}}{8} * \pi \dots \dots \dots (9)$$

Para el cálculo de la distancia de inercia:

$$\text{Distancia de inercia} = \frac{\text{Diametro exterior del rotor}}{2} \dots \dots \dots (10)$$

Para el cálculo de esfuerzo de carga:

$$\text{Esfuerzo de carga} = \frac{\text{Momento flector} * \text{distancia de inercia}}{\text{Momento de Inercia}} \dots \dots \dots (11)$$

Para el cálculo del esfuerzo que soporta el material:

$$\text{Esfuerzo del material} = \frac{\text{Esfuerzo de Fluencia del acero}}{4} \dots \dots \dots (12)$$

Para el cálculo de la flecha máxima del eje del rotor:

$$\text{Flecha maxima} = \frac{\text{momento flector} * \text{distancia de apoyos}}{384 * \text{momento de elasticidad} * \text{momento de inercia}} \dots \dots \dots (13)$$

Para el cálculo de la carga dinámica total (kg/vuelta):

$$\text{Carga dinamica total} = \text{Carga dinamica} * \text{Numero de discos} \dots \dots \dots (14)$$

Para el cálculo del torque equivalente:

$$\text{Torque} = \frac{\text{Peso} * \text{Radio de fuerza}}{\dots \dots \dots} \dots \dots \dots (15)$$

$$\text{Torque equivalente} = \text{Torque} * 2.2 * \dots \dots \dots (16)$$

Para el cálculo de las prestaciones eléctricas:

$$\text{Potencia(HP)} = \frac{\text{Torque equiv} * \text{velocidad}}{6300} \dots \dots \dots (17)$$

La selección de la potencia de diseño de la cadena está dada por la siguiente ecuación:

$$Pdc = PM * SF \text{ combinado} \dots \dots (18)$$

Dónde:

Pdc = Potencia de diseño de la cadena.

PM = Potencia del motor o potencia de giro.

SF combinado = Es el factor de seguridad que depende de:

$$SF \text{ combinado} = SF1 * SF2 * SF3 \dots \dots \dots (19)$$

SF1 = Factor de servicio por tipo de carga-motor eléctrico.

SF2 = Factor de servicio por tipo de carga-temperatura.

SF3 = Factor de servicio por tiempo de operación.

## Resultados

### Balance de masa y energía

Se realizó el balance de materia para una planta con capacidad de 120 Toneladas de materia prima /hora. Con la característica que en la etapa de secado ingresa un total de 55,46 Toneladas de mix /hora (mezcla de solidos formado por los licores de prensa, licores de separadores y el concentrado de agua de cola). Obteniéndose un total de 26.75 Toneladas de harina /hora con un porcentaje de humedad de 8 %.

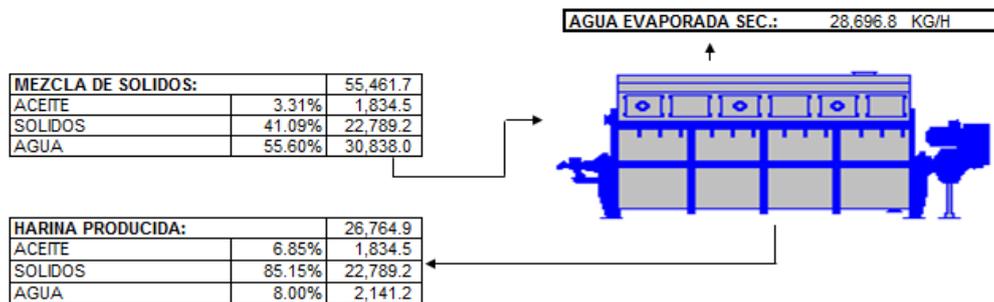


Figura 2. Balance de materia en secador rotadiscos.

Considerando que existe una igualdad entre la potencia térmica transferida al secador y la potencia calorífica neta, entonces se tiene la siguiente igualdad:

$$Qt = QT$$

$$\frac{m_w}{A} = \frac{3.6 * U * (T1 - T2)}{(2 * Ce_{mix} * (T_f - T_i)_{mix} + Ce_w * (T_f - T_i)_w + \Delta h_{fg} + (h_{g150} - h_{g150}))}$$

Y además la capacidad de evaporación esperada es;

$$Cs = \frac{W2}{A} = \frac{m_w}{A}$$

Reemplazando valores se tienen los siguientes resultados:

**Tabla 1**

Resultado de flujo de calor total requerido en las cocinas

U	Cs	ÁREA			
		m <sub>w</sub> Capacidad de evaporación(kg/h)			
		2000	2500	3000	3500
<b>30</b>	3.9	513	642	770	899
<b>35</b>	4.5	440	550	660	770
<b>40</b>	5.2	385	481	578	674
<b>45</b>	5.8	342	428	513	599
<b>50</b>	6.5	308	385	462	539
<b>55</b>	7.1	280	350	420	490
<b>60</b>	7.8	257	321	385	449
<b>65</b>	8.4	237	296	355	415
<b>70</b>	9.1	220	275	330	385
<b>75</b>	9.7	205	257	308	359
<b>80</b>	10.4	193	241	289	337
<b>85</b>	11	181	227	272	317

**Tabla 2**

Dimensiones principales del secador.

Ct	D <sup>2</sup> x L (m <sup>3</sup> )	D (m)	CALCULO DE DIAMETRO, LONGITUD Y Ct					
			2.2	2.225	2.25	2.275	2.3	2.325
<b>42.5</b>	105	L (m)	21.664	21.18	20.712	20.259	19.821	19.397
		L/D	9.847	9.519	9.205	8.905	8.618	8.343
<b>52.5</b>	85	L (m)	17.538	17.146	16.767	16.4	16.046	15.703
		L/D	7.972	7.706	7.452	7.209	6.976	6.754
<b>62.5</b>	71	L (m)	14.732	14.403	14.084	13.776	13.479	13.19
		L/D	6.696	6.473	6.26	6.056	5.86	5.673
<b>72.5</b>	61	L (m)	12.7	12.416	12.142	11.876	11.619	11.371
		L/D	5.773	5.58	5.396	5.22	5.052	4.891
<b>82.5</b>	54	L (m)	11.16	10.911	10.67	10.437	10.211	9.993
		L/D	5.073	4.904	4.742	4.588	4.44	4.298
<b>92.5</b>	48	L (m)	9.954	9.731	<b>9.516</b>	9.308	9.107	8.912
		L/D	4.524	4.374	<b>4.229</b>	4.092	3.96	3.833
<b>102.5</b>	43	L (m)	8.983	8.782	8.588	8.4	8.219	8.043
		L/D	4.083	3.947	3.817	3.692	3.573	3.459

Se tienen los siguientes valores para los cálculos:

n = Velocidad angular del secador en rpm (valor recomendado entre 8.5 a 12.5 rpm)

v = velocidad periférica de los discos (el cual es un valor de 1.1 m/sg)

f = fuerza de fricción igual a 205.120 N/m<sup>2</sup>

d (diámetro exterior del eje con espesor base de disco) = 801 mm

P (paso) = 130 mm

EB (espesor en la base del disco) = 80 mm.

Para el dimensionamiento previo del secador a vapor Rotadiscos, para una capacidad de evaporación de 3,500 kg/h de vahos o agua a evaporar, se obtiene un valor de 385 m<sup>2</sup> para el área de transferencia de calor, para un valor del coeficiente de transferencia de calor igual a 70 W/m<sup>2</sup>°C y una capacidad de evaporación esperada de 9.1 kg/h-m<sup>2</sup>. Existe una tendencia de incrementarse el coeficiente de transferencia de calor a medida que el Área de transferencia de calor disminuye, en donde a mejores condiciones de capacidad de evaporación para cualquier punto existe una mejor relación entre el Área de transferencia de calor y el coeficiente global de transferencia de calor.

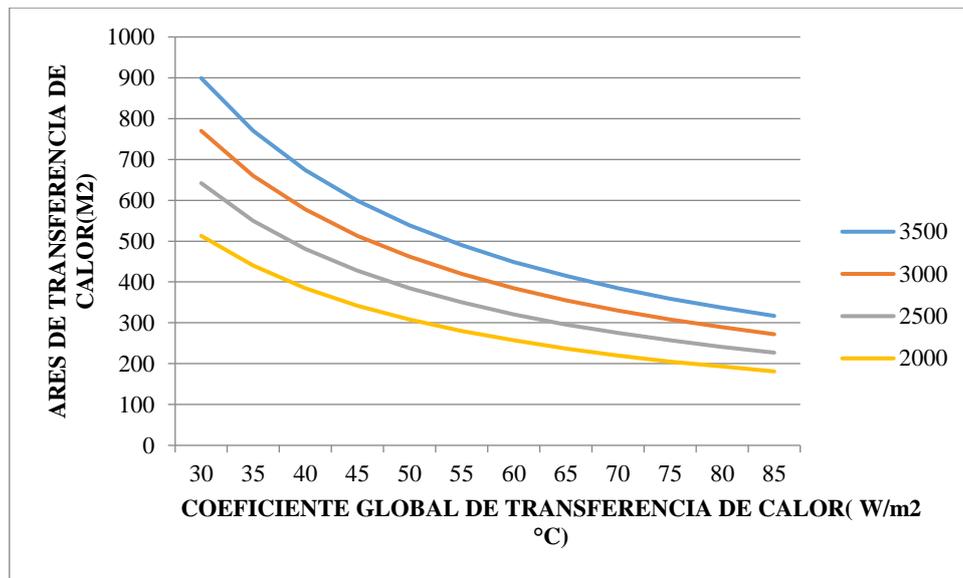


Figura 3. Comportamiento del Área de transferencia de calor y el Coeficiente Global de transferencia de calor para diversas capacidades de evaporación

Este último valor de 385 m<sup>2</sup>, se obtiene en función al balance de masas para una planta de harina de 120 Ton/h.

Si 120 ton/h de materia prima .....28.5 Ton/h de agua evaporada  
Entonces X ton/h ..... 3.5 Ton/h de agua evaporada

Por lo tanto, el valor de X o CAP es 14.63

Según lo dispuesto por la normatividad vigente, el valor de K es:

$$\text{Valor de "K"} = \frac{385}{14.63} = 26.31 \frac{m^2}{Ton/h}$$

Este valor está dentro del rango de 23 a 28 m<sup>2</sup> / Ton/h.

Así mismo de los valores de la Tabla 1 tan solo cumplen con el criterio establecido por la normatividad, 09 valores de diseño, donde el valor óptimo de todas las soluciones está dado por la capacidad de evaporación igual a 3,500 kg/h como capacidad de evaporación, con una mejor relación entre el coeficiente de transferencia de calor y el área de transferencia de calor, con una mayor del factor K.

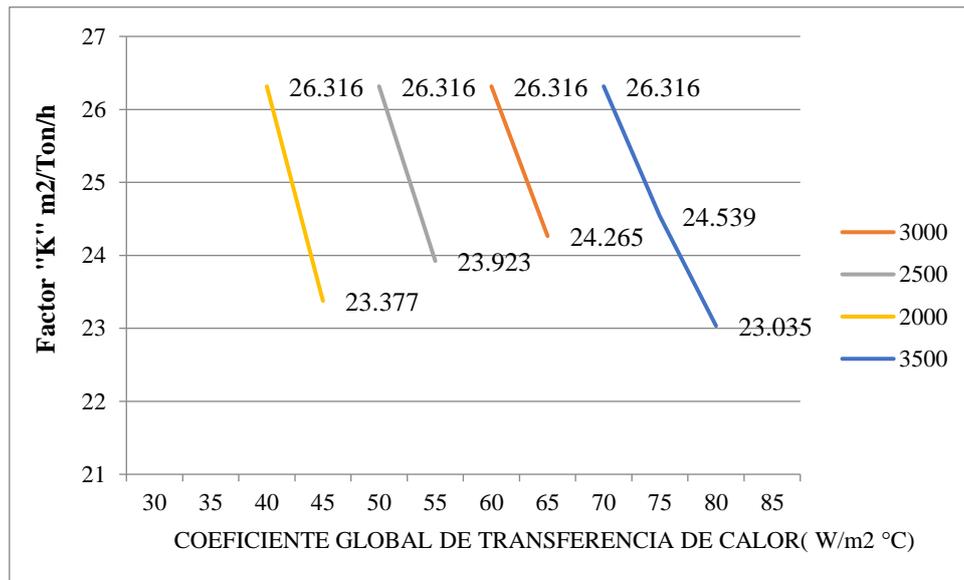


Figura 4. Cumplimiento del factor “K” y el Coeficiente global de transferencia de calor para diversas capacidades de evaporación

Se presenta el comportamiento para diversos valores de Ct (capacidad de evaporación esperada cuyo rango oscila entre 40 y 120, para diversas relaciones entre longitud/diámetro del secador, y con diámetros de secador comerciales. En donde se observa que a mayor valor de Ct se tienen menores valores para la relación L/D (el cual varía entre 4 a 10), de la misma manera el punto intermedio de diseño se ubica para los valores de diámetro de 2.25 a 2.275 metros, caso contrario los equipos serían muy largos o de mucho diámetro.

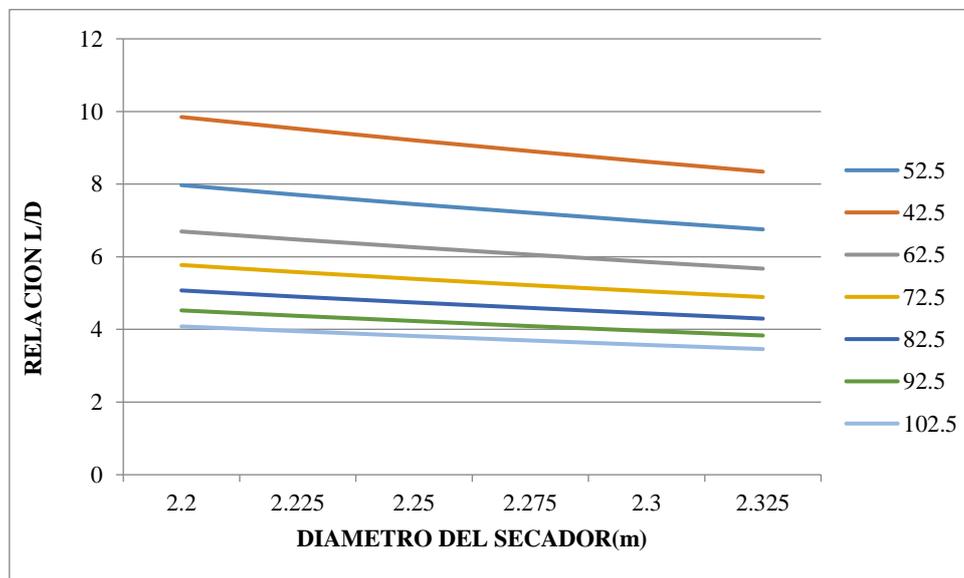


Figura 5. Comportamiento de la relación L/D y el diámetro del secador para diversos valores de Ct.

Se mantiene constante el paso entre disco y disco con un valor de 0.13 m, en el cual se opta por una longitud de secador de 9.511 metros y un diámetro de secador de 1.99 metros con una relación de L/D igual a 4.9, alcanzando un valor de velocidad de 10.9 rpm y un total de 67 discos, con un valor real de transferencia de calor igual a 388.27 m<sup>2</sup>, este último valor es cercano al valor previsto de 385 m<sup>2</sup>, con un margen de error de 0.97 %.

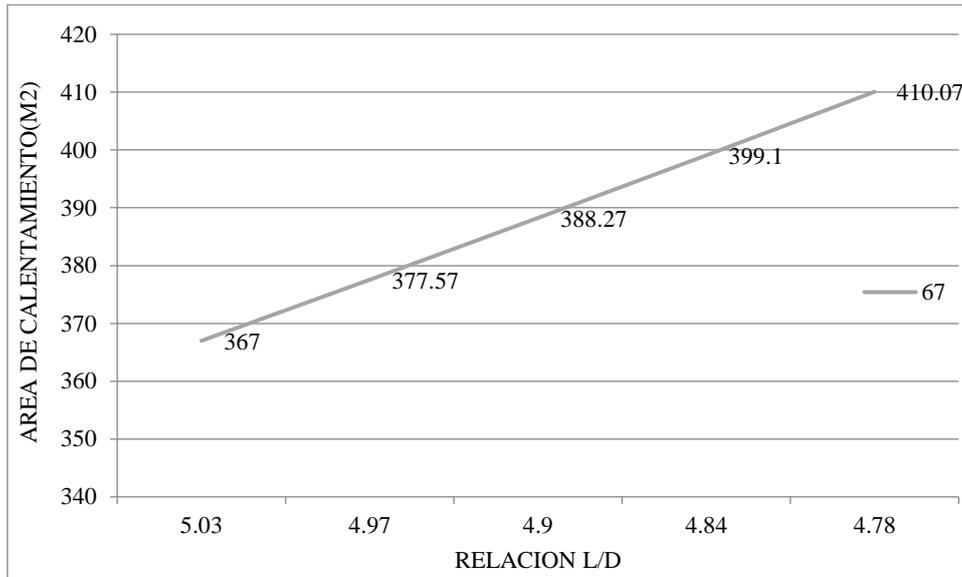


Figura 6. Comportamiento de la relación L/D y el Área de calentamiento para un secador de 67 discos.

Así mismo la potencia del Motor a accionar al secador oscila entre 100 a 120 HP.

En lo referente al área de calentamiento, la distribución porcentual queda distribuida de la siguiente manera para un valor de 388 m<sup>2</sup>. Asimismo, para un secador con 68 discos, el valor más cercano es aquel cuya Área de transferencia es igual a 383.21 m<sup>2</sup> pero su relación L/D es de 5.03 (un secador de mayor longitud)

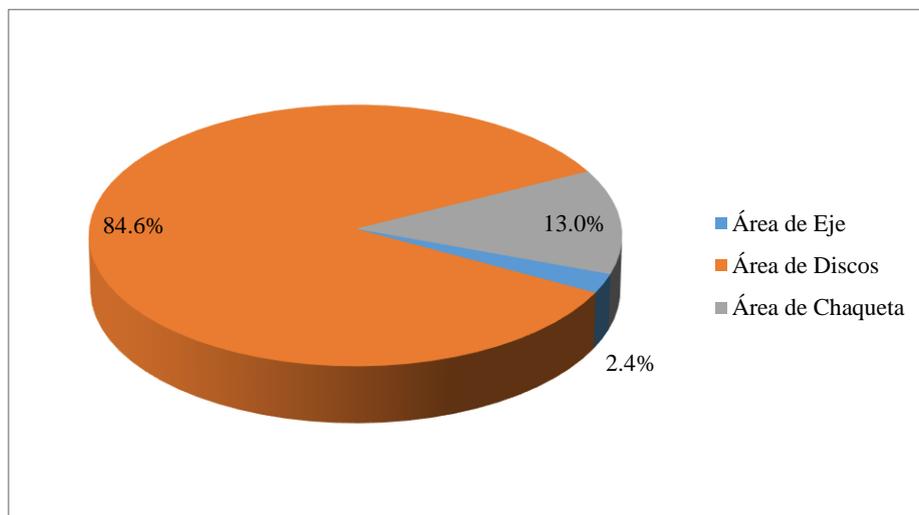


Figura 7. Distribución porcentual de Áreas para el secador de 3,500 kg/h de capacidad de evaporación.

Con referencia a los esfuerzos mecánicos a los que se ve sometido el secador en función a la presión de vapor (a 7 Bar), el modelo propuesto cumple con los criterios y rangos permitidos por ecuaciones académicas y ecuaciones propuestas por el ASME para equipos y recipientes sometidos a presión. Así mismo los esfuerzos mecánicos se han representado en diagramas de fuerzas cortantes y momento flector. En donde la carga vertical mayor igual a 189.6 kN en el plano vertical y de 23.76 kN en el plano horizontal, ambas ubicadas en la zona de transmisión de potencia.

Se han seleccionado componentes principales tal como: Motor Eléctrico de 110 HP, RODAMIENTO 23048CC/W33 para un valor de  $C= 937.4$  kN, cadenas de potencia tipo: Cadena de rodillos ASA240-2, Paso: 3” –DOBLE HILERA.

Referente a la evaluación económica y considerando 8 secadores para la planta de 120 Toneladas/h, se tiene un valor del VAN igual a 43'702,617.14 U\$ y un TIR igual a 275.87 %, con lo cual el proyecto es económicamente rentable.

### Discusión

En el informe de tesis de ACEIJAS PAJARES, Winston. (2011) en su tesis para optar el Grado de Maestría en Ingeniero Mecánico de la Universidad Nacional de Ingeniería en Perú, prefirió por aplicar un análisis de método de elementos finitos y el trabajo se aplicó para aumentar la capacidad de planta. Para nuestro caso, se realizaron análisis de diagrama de carga, esfuerzos cortantes y momento flector para verificar los esfuerzos a que se somete el secador y de ahí dimensionar otros componentes.

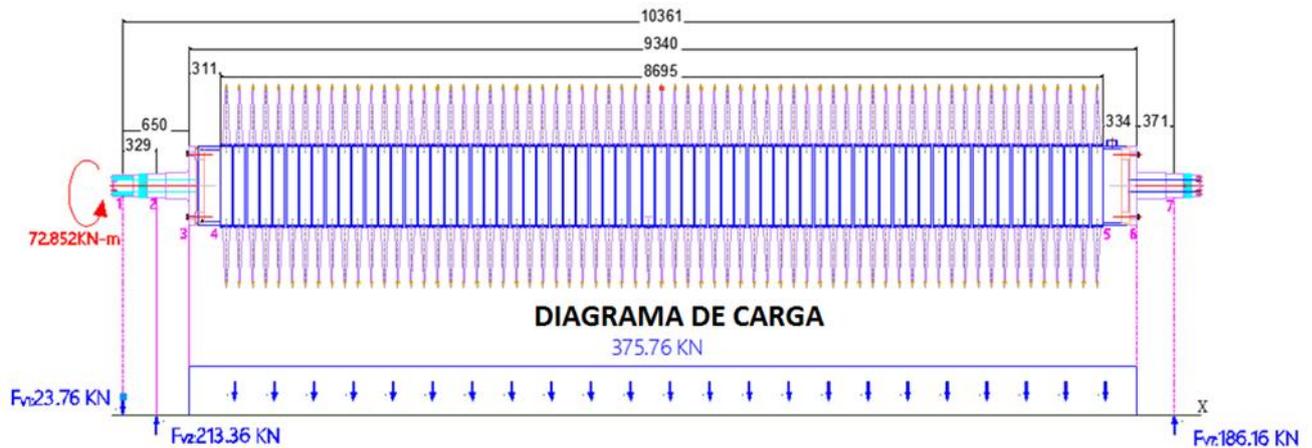


Figura 8. Diagrama de carga para el diseño del secador.

En la tesis de CORPUS SALDAÑA, Cesar y LOPEZ CONTRERAS Alexander ( 2015) en su tesis para optar el título de Ingeniero en Energía de la Universidad Nacional del Santa de Chimbote en Perú, se determinó que existe una influencia entre variables del proyecto (presión de vapor y construcción de un caldero piro tubular) según lo siguiente de la presión de operación en la selección de la presión de diseño y en la selección de los componentes sometidos a presión del caldero , así como de los esfuerzos mecánicos , mientras que, para nuestro caso, el dimensionamiento del secador es función de la capacidad de evaporación , a través del cual se determinan el resto de los componentes auxiliares y de accionamiento del secador rotadiscos para una planta de 150 Toneladas de materia prima/hora.

Para DURAN OSCUEZ, Geovanny (2014), en su tesis para optar el Título de Ingeniero Mecánico de la Facultad de Ingeniería mecánica de la Escuela Superior Politécnica del Litoral de Ecuador y la presente tesis concuerdan en la necesidad de que el dimensionamiento de un secador tiene parte energética y mecánica para poder tener una solución confiable. Principalmente, la relación  $L/D$ , factor  $K$ , área de transferencia de calor y coeficiente global de transferencia de calor son los parámetros de diseño que dependen de la capacidad de evaporación.

### Conclusiones

Se realizó un balance de materia en la Planta de 120 Ton/h de capacidad de la Empresa Corporación Pesquera 1313 S. A, determinándose un valor de 28.5 Ton/h de agua evaporada a obtenerse durante el proceso de secado con secadores del tipo Rotadiscos.

Se determinó el área de calentamiento igual a 380 m<sup>2</sup>, en el cual se cumple con una capacidad de evaporación de 3,500 kg/h de agua evaporada en 8 secadores a vapor del tipo Rotadiscos, con el cual se cumple con el factor K establecida en la normatividad peruana, según RD N° 091-2002-PE-DNEPP, con un valor de 26.316.

Realizando un comparativo entre diversos valores propuestos de secadores Rotadiscos en función a una capacidad de evaporación de 3,500 kg/h de agua evaporada, se tienen las siguientes características principales: Numero de discos 67, distancia entre discos de 0.13 metros, longitud de secador de 9.511 metros y un diámetro de secador de 1.99 metros con una relación de L/D igual a 4.9, alcanzando un valor de velocidad de 10.9 rpm, con un valor del área de transferencia de calor real igual a 388.27 m<sup>2</sup>, este último valor es cercano al valor previsto de 385 m<sup>2</sup>, con un margen de error de 0.97 %.

Con referencia a los esfuerzos mecánicos, a los que se ve sometido el secador, en función a la presión de vapor (a 7 Bar), el modelo propuesto cumple con los criterios y rangos permitidos por ecuaciones académicas y ecuaciones propuestas por el ASME para equipos y recipientes sometidos a presión. Así mismo, los esfuerzos mecánicos se han representado en diagramas de fuerzas cortantes y momento flector. En donde la carga vertical mayor igual a 189.6 kN en el plano vertical y de 23.76 kN en el plano horizontal, ambas ubicadas en la zona de transmisión de potencia.

Se han seleccionado componentes principales tal como: Motor Eléctrico de 110 HP, RODAMIENTO 23048CC/W33 para un valor de C= 937.4 kN, cadenas de potencia tipo: Cadena de rodillos ASA240-2, Paso: 3” –DOBLE HILERA.

Se realizó la evaluación económica y considerando 8 secadores para la planta de 120 Toneladas/h, con una tasa de interés del 12 % y 10 años de vida útil, se tiene un valor del VAN igual a 43 702,617.14 U\$ y un TIR igual a 275.87 %, con lo cual el proyecto es económicamente rentable.

## Recomendaciones

Sería adecuado realizar un estudio comparativo entre un secador Rotadiscos y un secador Rotatubos y verificar cuál de ellos presenta un mayor detenimiento o mayor cuidado en su cálculo tanto energético, como mecánico.

Es necesario realizar y promover charlas de capacitación en el cual se difunda las bondades tecnológicas de los secadores del tipo Rotadiscos, así como modelizar su comportamiento de diseño y operacional.

Un trabajo pendiente está relacionado a la aplicación de software de simulación, tal es el caso del ANSYS, con la finalidad modelizar la geometría y perfil de los discos que conforma al secador, con la finalidad de optimizar la operación del mismo.

## Referencias

- ATI Soluciones de Ingeniería. (2013). *Cálculo de la capacidad de los principales equipos de una Planta Pesquera*. Recuperado de: <http://es.slideshare.net/atigroup/8-plantas-y-equipos-para-el-proceso-harina-de-pescado-16203166>
- Aceijas Pajares, Winston. (2011). *Optimización de un secador Rotatubos a vapor de 40 ton/h para la industria pesquera*. (Tesis para optar el Grado de Magister en Ciencias Ingeniería Mecánica). Recuperado de: <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/588>
- Corpus Saldaña, Cesar y López Contreras, Deyvi. (2015). *Influencia de la presión de vapor en el diseño de un caldero pirrotubular de 2 Toneladas/hora*. (Tesis para optar el Título de Ingeniero en Energía). Recuperado de: <http://repositorio.uns.edu.pe/handle/UNS/2652>.
- Duran Acuez, Carlos. (2014). *Desarrollo de una tecnología lagrangiana para el dimensionamiento y cálculos de secadores rotativos*. (Tesis para optar el título de Ingeniero Mecánico de la Escuela Superior del Litoral. Ecuador). Recuperado de: <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/25211>

- Foust, Alan. (2006). *Principios de operaciones unitarias*. 2<sup>a</sup> Ed. México D.F.: Editorial CECSA. 256 pp. ISBN 0-471-26897-6
- Geankoplis, Christie. (2013). *Procesos de transporte y principios de separación*". 4<sup>a</sup> Ed. México.: Editorial Pearson Educación. 982 pp. ISBN 9781292026022
- GOALCA Proyectos. (2011). *Sistema secado con aire caliente*. Empresa GOALCA SA. Perú  
Recuperado de: <http://www.goalco.com.pe/documentos/Brochuresecador.pdf>
- Holman, J. (1998). *Transferencia de calor*. 8<sup>a</sup> Ed. Madrid, España: 484 pp. ISBN 844812040X.
- Manrique Zorilla, Lauro. (2008). *Secador Rotadiscos de 14 Toneladas/hora*. Universidad nacional de Ingeniería. Perú. Recuperado de: [http://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UUNI\\_65c86b0d7d4c04313ae097b4e66c96aa](http://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UUNI_65c86b0d7d4c04313ae097b4e66c96aa)
- Ministerio de la Producción. (2002). *RD N° 091-2002-PE-DNEPP*. Recuperado de: <http://www2.produce.gob.pe/dispositivos/publicaciones/dgepp/2013/Agosto/RD-123-2013-PRODUCE-DGCHI.pdf>
- Monsalvo Raúl. (2014). *Balances de materia y energía. Procesos industriales*. 1<sup>a</sup> Ed. Grupo Editorial Patria. 400pp. ISBN 6074388954
- Mott, Robert. (2006). *Diseño de ingeniería mecánica*. 4<sup>a</sup> Ed. Editorial Pearsons Educación. México. 872 pp. ISBN 9702608120.
- Pereira, Luis. (2013). *Mediciones y análisis del secado*. Brasil. Recuperado de: <http://www.albint.com/business/mc/en-us/pmc/mt/Momento%20Tcnico%20%20Artigos%20%20ES/Mediciones%20y%20an%C3%A1lisis%20de%20l%C3%A1%20secci%C3%B3n%20de%20secado%20-%20Parte%201.pdf>
- Shigley. (2012). *Diseño en ingeniería mecánica*. 9<sup>a</sup> Ed. Editorial Mc Graw Hill. México .1039 pp. ISBN 978-970-10-6404-7.
- Vallejos Romana, Cesar. (2013) *Modelación, simulación y control predictivo de un secador Rotadiscos en la Industria Pesquera*. (Tesis para optar el título de Ingeniero mecánico Eléctrico. Universidad de Piura).