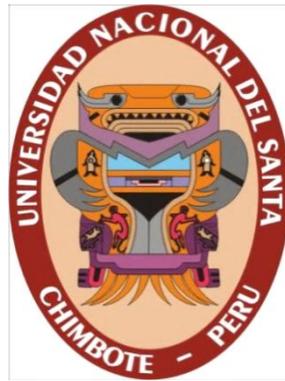


UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ACADEMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ENERGÍA



**“EVALUACION ENERGETICA PARA OPTIMIZAR EL SISTEMA DE
BOMBEO DE CONDENSADOS DE PRE-EVAPORADORES POR
INCREMENTO DE CAPACIDAD DE MOLIENDA - AGROINDUSTRIAS
SAN JACINTO S.A.”**

PRESENTADO POR:

BACH. SANDOVAL SANTA MARIA, JULIO CESAR

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO EN ENERGÍA**

NVO. CHIMBOTE - PERÚ

2018



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ACADEMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ENERGÍA

CARTA DE CONFORMIDAD DEL ASESOR

La presente Tesis ha sido revisada y desarrollada en cumplimiento del objetivo propuesto y reúne las condiciones formales y metodológicas, estando encuadrado dentro de las áreas y líneas de investigación conforme al reglamento general para obtener el título profesional en la universidad nacional del santa (R: D: N° 471·2002-CU-R-UNS) de acuerdo a la denominación siguiente:

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO EN ENERGÍA

Título: "EVALUACION ENERGETICA PARA OPTIMIZAR EL SISTEMA DE BOMBEO DE CONDENSADOS DE PRE-EVAPORADORES POR INCREMENTO DE CAPACIDAD DE MOLIENDA - AGROINDUSTRIAS SAN JACINTO S.A."

TESISTA:

BACH. SANDOVAL SANTA MARIA, JULIO CESAR

Mg. Amancio Ramiro Rojas Flores

ASESOR



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ACADEMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ENERGÍA

HOJA DEL AVAL DEL JURADO EVALUADOR

El presente trabajo de tesis intitulado **"EVALUACION ENERGETICA PARA OPTIMIZAR EL SISTEMA DE BOMBEO DE CONDENSADOS DE PRE-EVAPORADORES POR INCREMENTO DE CAPACIDAD DE MOLIENDA - AGROINDUSTRIAS SAN JACINTO S.A."**, para obtener el título profesional de Ingeniero en Energía, presentado por Bach. Julio Cesar Sandoval Santa María, que tiene como asesor al Mg. Amancio Ramiro Rojas Flores designado por resolución N°858-2017-UNS-FI. Ha sido revisado y aprobado el día 29 de Mayo del 2018 por el siguiente jurado evaluador, designado mediante resolución N° 129-2018-UNS-CFI.

Mg. Robert Fabián Guevara Chinchayan
(Presidente)

Mg. Amancio Ramiro Rojas Flores
(Integrante)

Mg. Roberto Chucuya Huallpachoque
(Integrante)



DEDICATORIA

*A mis hijos, Ana Lucia y Andrés Joaquín
por ser mi aliento de mi inspiración en
mi desarrollo personal y profesional.*

*A mi esposa Yuly, por darme su amor,
apoyo y ayuda idónea.*

*A mis padres José y María, quienes con
su amor, ayuda y sacrificio
incondicional formaron en mí valores
para la superarme y realizar todo lo
que me proponga.*



AGRADECIMIENTOS

*A Dios, el dador de todo conocimiento
y sabiduría, en quien digo: Esperanza
y castillo mío; Mi Dios, en quien
confiare.*

*A mis hermanos José y
Teresa, por su amor, apoyo, alegría y
comprensión, durante toda mi carrera
de estudiante, y sé que será para toda
la vida.*



RESUMEN

La presente tesis tuvo como objetivo optimizar el sistema de bombeo de condensados de los pre-evaporadores al incrementar la capacidad de molienda en la empresa Agroindustrias San Jacinto S.A. Debido a que la empresa, carece de un dimensionamiento óptimo para trabajar en las condiciones normales de trabajo con una molienda actual de 3000 TCD, hace deducir que en las próximos aumentos de capacidad de molienda tales equipos seguirán trabajando de una forma ineficiente. Utilizando principios hidráulicos, mecánicos y eléctricos se llega a determinar los parámetros óptimos de trabajo del equipo de bombeo de condensados, determinándose así, la potencia de las bombas, el NPSH (Carga Neta de Succión Positiva Disponible), el factor de carga del sistema de bombeo para cada escenario de aumento de capacidad molienda. Luego de la evaluación y análisis de los parámetros de funcionamiento del sistema de bombeo de agua condensados de los Pre evaporadores, se determina que para un primer escenario, con una molienda de 3000 TCD, el sistema de bombeo trabajara con una bomba de 8.9 hp accionada por un motor eléctrico de alta eficiencia de 15 HP, con un factor de carga de 0.67, y la bomba con un NPSH disponible de 16.2 m. del mismo modo se obtienen los resultados para los escenarios proyectados con capacidades de molienda de 4000, 4500 y 5340 TCD.

Finalmente mediante una evaluación económica, llegamos a la conclusión que el proyecto es económicamente viable.



ABSTRACT

The objective of this thesis was to optimize the condensate pumping system of the pre-evaporators by increasing the grinding capacity in the company Agroindustrias San Jacinto S.A. Due to the fact that the company does not have an optimal sizing to work under normal working conditions with a current grinding of 3000 TCD, it does infer that in the next increases in grinding capacity such equipment will continue to work inefficiently. Using hydraulic, mechanical and electrical principles, it is possible to determine the optimum working parameters of the condensate pumping equipment, thus determining the power of the pumps, the NPSH (Net Load of Positive Suction Available), the load factor of the pumping for each grinding capacity increase scenario. After the evaluation and analysis of the operating parameters of the condensed water pumping system of the Pre evaporators, it is determined that for a first scenario, with a grinding of 3000 TCD, the pumping system will work with a pump of 8.9 hp driven by a high efficiency electric motor of 15 HP, with a load factor of 0.67, and the pump with an available NPSH of 16.2 m. In the same way, the results are obtained for the milling capacities of 4000, 4500 and 5340 TCD.

Finally, through an economic evaluation, we conclude that the project is economically viable.



INDICE

CAPITULO I: INTRODUCCION.....	1
1.1. IDENTIFICACION DE LA EMPRESA.....	2
1.2. REALIDAD DEL PROBLEMA.....	4
1.3. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACION.....	5
1.4. FORMULACION DEL PROBLEMA.....	7
1.5. HIPOTESIS.....	7
1.6. OBJETIVOS.....	8
1.8. JUSTIFICACION DEL ESTUDIO.....	8
CAPITULO II: MARCO TEORICO.....	10
2.1. FUNDAMENTOS TEORICOS DE LA INVESTIGACION.....	11
CAPITULO III: MATERIALES Y METODOS	52
3.1. MATERIALES.....	53
3.2. METODOS.....	53
3.4. POBLACION Y MUESTRA.....	54
CAPITULO IV: RESULTADOS.....	55
4.1. OBTENCION DE DATOS.....	56
4.2. CALCULO DE CAUDALES DE CONDESADO.....	57
4.3. CALCULO DEL DIAMETRO DE TUBERIA.....	61
4.4. CALCULO DE PERDIDAS PRIMARIAS.....	63
4.5. CALCULO DE PERDIDAS SECUNDARIAS.....	65
4.6. CALCULO DE LA ALTURA DINAMICA TOTAL.....	71
4.7. CALCULO DE LA POTENCIA DE BOMBA.....	73
4.8. CALCULO DE LA POTENCIA DE MOTOR.....	74



4.9. CALCULO DE LA CARGA NETA DE SUCCION POSITIVA DISPONIBLE.....	76
4.10. CALCULO DE LA POTENCIA NOMINAL DEL MOTOR.....	77
4.11. CALCULO DEL FACTOR DE CARGA.....	80
4.12. EVALUACION ECONOMICA.....	83
DISCUSION.....	93
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	94
CONCLUSIONES.....	95
RECOMENDACIONES.....	97
REFERENCIAS.....	98
ANEXOS.....	101



INDICE DE TABLAS

TABLA 01: Eficiencia nominal mínima de motores trifásicos de inducción de alta eficiencia.....	26
TABLA 02: Reducción de la eficiencia por rebobinado.....	44
TABLA 03: Caudales de condensados de los pre evaporares para diferentes capacidades de molienda.....	61
TABLA 04: Diámetro de tubería de Succión y Descarga.....	63
TABLA 05: Perdidas primarias por longitud de tubería, lado succión.....	64
TABLA 06: Perdidas primarias por longitud de tubería, lado descarga.....	65
TABLA 07: Perdidas secundarias en el lado succión a diferentes capacidades de molienda.....	70
TABLA 08: Perdidas secundarias en el lado descarga a diferentes capacidades de molienda.....	70
TABLA 09: Altura dinámica total a diferentes capacidades de molienda.....	73
TABLA 10: Potencia de bomba a diferentes capacidades de molienda.....	74
TABLA 11: Potencia de bomba a diferentes capacidades de molienda.....	75
TABLA 12: NPSH de bombas para diferentes Capacidad de molienda.....	76
TABLA 13: Datos de motor tomados en campo.....	78
TABLA 14: Factor de carga y potencias para cada capacidad de molienda.....	81
TABLA 15: Ahorro económico y costos para cada capacidad de molienda.....	90
TABLA 16: Valor actual neto.....	91
TABLA 17: Tasa interna de retorno	92
TABLA 18: Rentabilidad del proyecto.....	92



INDICE DE FIGURAS

Figura 01: Caldera acuotubular Foster Wheeler N°01.....	12
Figura 02: Tipos de carcasa bombas centrifugas.....	17
Figura 03: Tipos de impulsores.....	22
Figura 04: Tipos de impulsores.....	23
Figura 05a: Succión de un reservorio abierto a la presión atmosférica. Recipiente localizado por debajo de nivel de eje de la bomba.....	39
Figura 05b: Succión de un reservorio abierto a la presión atmosférica. Recipiente localizado a mayor altura que el eje de la bomba.....	39
Figura 5c: Succión de un reservorio cerrado con presión (Ps) diferente a la atmosférica. Recipiente a mayor altura que eje de la bomba.....	40
Figura 06: Recorrido de las líneas de succión y descarga.....	56
Figura 07: Flujo de condensados para sus respectivas capacidades de molienda.....	61
Figura 08: Capacidad de molienda vs perdidas primarias.....	65
Figura 09: Capacidad de molienda vs perdidas secundarias en el lado succión y descarga.....	71
Figura 10: Altura dinámica total a diferentes capacidades de molienda.....	73
Figura 11: Potencia de motor y bomba a diferentes capacidades de molienda.....	75
Figura 12: NPSH a diferentes Capacidades de molienda.....	77
Figura 13: Potencia de motores vs Capacidad de molienda.....	82
Figura 14: Factores de carga vs Capacidad de molienda.....	82
Figura 15: Flujo de caja de la Inversión.....	91



CAPITULO I

INTRODUCCION



Una de las necesidades fundamental de Agroindustrias San Jacinto S.A es la optimización de sus equipos, ya que muchos de ellos fueron instalados de manera empírica y sobredimensionada, presentando fallas y altos consumos de energía en sus procesos, lo que se ve reflejado en las facturaciones mensuales de energía eléctrica. Si bien es cierto que en un Ingenio de este tipo, se produce energía térmica y eléctrica al mismo tiempo, los equipos sobredimensionados y el alto consumo de energía de los mismos generan pérdidas considerables para la empresa. En pocas palabras la empresa está gastando dinero en equipos que no están funcionando con eficiencia y en energía que no es aprovechada. Teniendo en cuenta que el Ingenio crecerá en capacidad de molienda de 3000 a más de 5340 TCD (toneladas de caña molida al día) en aproximadamente 5 años, es de vital importancia un dimensionamiento óptimo de los equipos consumidores de energía en las áreas críticas, como es en este caso el área de bombeo de aguas condensadas de los pre evaporadores que alimentan aproximadamente el 88 %de agua a las calderas.

El centro de operaciones es la localidad de San Jacinto, su Complejo Agroindustrial se encuentra ubicado en la Av. Santa s/n a 420 Km. al Norte de Lima, situada en el Distrito de Nepeña, Provincia del Santa, Departamento de Ancash. Comprende las tierras ubicadas en: San Jacinto, Huacatambo, Capellanía, cerro Blanco, San José, La Capilla y Motocachy.



Geográficamente San Jacinto se ubica en las coordenadas 9° y 30° de latitud Sur y 78° 18 de longitud oeste, a unos 45Km de la ciudad de Chimbote y a 405 Km de la ciudad de Lima.

1.1. ACTIVIDAD ECONÓMICA

Según Quesquén (2015:3), La actividad agroindustrial en la zona, data desde la época virreinal con la entrega al capitán Carrillo de la parte del valle que corresponde a Motocachy. Desde 1581 a 1767 la corona española entregó a la orden de los Jesuitas las tierras comprendidas entre la parte alta de Motocachy hasta la capilla en el litoral, constituyéndose en los hacendados más importantes del valle.

En 1872 ésta hacienda es vendida a don Enrique Swayne, quien era propietario de la hacienda San Jacinto. El Sr. Swayne de nacionalidad escocesa, que había adquirido San Jacinto en 1860, fue quien sentó las bases de la industria azucarera en el valle, ya que por primera vez adquirió un vacuum pan para la elaboración como complemento del trapiche, traído desde Inglaterra. Al fallecer don Enrique Swayne, quedó como administrador de sus bienes don Augusto B. Leguía, su yerno, hasta el año 1908 en que fue elegido presidente del Perú. Luego en 1968; esta empresa fue adquirida por el consorcio cubano-estadounidense.

En 1969, se produce la intervención del Estado haciendo que se forme como cooperativa.

En 1992 se produce el cambio de modelo empresarial, pasando de cooperativa a sociedad anónima con el nombre de Agroindustrias San Jacinto S.A. A y el ingreso al accionariado y a la administración, del grupo



financiero Corporación Agroindustrial Progreso S.A. en Julio de 1996. Para setiembre del 2009 al mismo estilo del mundialmente famoso juego 'monopolio' los grupos Gloria y Picasso Candamo decidieron intercambiar negocios, el primero para incrementar su participación en el sector azucarero y el segundo para fortalecer su división farmacéutica. Esta estratégica movida involucra, la transferencia del íntegro de las acciones de Farmacéutica del Pacífico S.A.- Farpasa (De propiedad de la familia Rodríguez Banda) a favor de los accionistas de Agroindustrias San Jacinto S.A.A. (es decir el conglomerado Picasso Candamo) en calidad de pago por el 72.57% de las acciones del ingenio.

La empresa agroindustrial San Jacinto se dedica a la producción de azúcar comercial doméstica a partir del procesamiento de la planta de la caña de azúcar como materia prima. Los productos que elabora son: azúcar rubia doméstica, azúcar blanca doméstica y la azúcar para exportación (Azúcar sin terminar de procesar). Además obtiene como subproducto el alcohol etílico rectificado fino.

En la fábrica se muelen más de 800000 toneladas de caña anualmente en aproximadamente 31 O días de zafra (Día efectivo de molienda). En el ingenio actualmente se muelen entre 3000 y 3400 toneladas por día de caña, aproximadamente, siendo su producción de aproximadamente 5500 bolsas de azúcar rubia o blanca de 50 Kilos. El tipo de azúcar que se produce depende de cómo esté el precio en el mercado de cada uno de estos productos.



1.2. REALIDAD DEL PROBLEMA

Según Gieduci (2006:1), En la actualidad, el mundo viene atravesando una de las crisis energéticas más grandes en la existencia de la humanidad, esta escasez deviene de inversiones equivocadas y del gran aumento de demanda. Lo que hace pensar que a medida que pasen los años el problema se irá agravando más y en mayor medida. Según uno de los últimos informes del Consejo Mundial de Energía, la demanda global de energía eléctrica podría duplicarse para el año 2025, y en nuestro país esta situación podría plantearse unos años antes aun.

Revisando las estadísticas de nuestro país, en el Perú, Songia (2018) informa que, las industrias manufactureras y la minería representan alrededor del 56% de la demanda de electricidad del país, dentro de este porcentaje el 60% y 70% del consumo de energía de las plantas industriales proviene del funcionamiento de las maquinarias, las cuales funcionan con motores eléctricos. esto enmarca a la necesidad de estimar las capacidades actuales, para responder en la medida de garantizar las operaciones económicamente viables desde los aspectos propios de la industria así como el factor competitividad en el mercado donde se desarrolla, en ello la industria peruana, así como cualquier industria en el mundo, deben desarrollar tecnologías y realizar evaluaciones energéticas, para realizar un eficiente uso de su energía en sus procesos, ya que ello generan gastos elevados reflejados en las facturaciones mensuales de electricidad.



Uno de los problemas de la empresa Agroindustrias San Jacinto, es que a la fecha cuenta con un sistema de bombeo de condensados compuesto por diferentes elementos y equipos como tuberías de acero, codos de acero, tanques de almacenamiento, llaves compuerta, válvulas de retención, y bombas centrifugas, que no trabajan a plena carga, esto sumado a su mal estado de conservación y largo tiempo de uso, no se dan abasto y se hace ineficiente el bombeo de condensados que se requieren para abastecer la demanda de agua para las calderas. Equipos sobredimensionados, instalados y escogidos de manera empírica que no favorecen al uso racional y eficiente de la energía generada en la propia planta. Esto no garantiza, y agrava la situación de la empresa con respecto a lo que se indica al inicio del texto ya que se está a una inminente aumento de molienda en cuatro etapas de manera escalonada de 3000 TCD, 4000 TCD, 4500 TCD Y 5340 TCD .

1.3. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACION

- Díaz Barreto Inca, C. (2017). Optimización del sistema de bombeo-construcción y drenaje-Unidad Minera Antapaccay. con su investigación concluye lo siguiente:

Se seleccionaron las bombas para el nuevo sistema de drenaje, Bomba Flygt 2400.402.591 MT (potencia de 104 kW y la potencia necesaria para bombear el agua de un nivel a otro es de 87.92 kW), bomba Gorman Rupp (potencia de 205 kW y la potencia necesaria para bombear el agua de un nivel a otro es de 178.09 kW), bomba Goulds Pump (potencia de 298 kW y la potencia necesaria para bombear el agua de un nivel a otro es de 225.48



kW) y la bomba Sulzer (potencia de 250 kW y la potencia necesaria para bombear el agua de un nivel a otro es de 139.4 kW).

- Glaymar Clavel. (2006). Análisis hidráulico y reducción de consumo energético en bombas del molino Smurfit Kappa-Cartoven, con su investigación concluye lo siguiente:

En la planta Cartoven del grupo Smurfit – Kappa de Venezuela, debido a su cambiante sistema de producción, resulta de gran importancia el estudio frecuente del sistema hidráulico; de modo de garantizar la integridad y de los equipos conectados. La inadecuada selección de los equipos, debido a la omisión de estudios hidráulicos pertinentes, ocasiona un sobre consumo energético. Del total de las bombas estudiadas, el 22% se encuentran conectadas a un motor de caballaje inadecuado para su tamaño. Y el 30 % de las bombas estudiadas se sugiere sean reemplazadas por otras de modelo actualizados y de tamaños más ajustados al proceso.

El ahorro de consumo eléctrico por conceptos de bombas, es un factor importante a considerar en la reducción de costos de producción, ya que constituye casi el 50% del consumo energético total en equipos de la planta.

- Ayala, R., & Michel, Y. (2014). Mejoramiento del sistema de bombeo para evacuación eficiente de aguas subterráneas en Volcán Compañía Minera SAA-Unidad San Cristóbal. con su investigación concluye lo siguiente:

El resultado de la potencia de una bomba es dato inicial para la seleccionar la misma, porque en el catálogo de los fabricantes y proveedores se tiene una gama de marcas y modelos. Además en el gráfico



de las curvas características nos ayudan a definir la selección de la bomba. En este caso entrando al gráfico con caudal de 612 m³/h y altura de 72,858 m se encontró un punto de intersección; el cual por su ubicación nos da información de la eficiencia de 73,5% y potencia de la bomba 190 Kw. La línea de tuberías también resultó eficiente porque solo llegó a presentar una sumatoria total de pérdidas de energía de 4,897 metros de zrespecto al consumo de energía en el nuevo sistema en 24 horas es de 10600.83 kw-h mientras en el anterior sistema es de 12940,87 kw-h. Entonces se tiene un ahorro de 18% de consumo de energía eléctrica.

1.4. FORMULACION DEL PROBLEMA

Ante la realidad problemática presentada en el área de elaboración de la empresa agroindustrial San Jacinto, se formula la siguiente interrogante:

¿Cómo optimizara el sistema de bombeo de condensados de los pre-evaporadores al incrementar la capacidad de molienda en la empresa Agroindustrias San Jacinto S.A.?

1.5. HIPOTESIS

Se optimiza el sistema de bombeo de condesados de los pre evaporadores instalando dos bombas con motores eléctricos de alta eficiencia con la potencia y factor de carga adecuado, por incremento de capacidad de molienda de 3000 TCD a 5340 TCD de Agroindustrias San Jacinto S.A



1.6. OBJETIVOS

1.6.1. OBJETIVO GENERAL

Realizar una evaluación energética para optimizar el sistema de bombeo de condensados de los pre-evaporadores por incremento de capacidad de molienda en Agroindustrias San Jacinto S.A.

1.6.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Determinar los caudales de condensados de los pre-evaporadores, para 3000, 4000, 4500 y 5340 TCD proyectados.
- Determinar la potencia de los motores eléctricos de bombas en los escenarios de incremento de molienda.
- Determinar el NPSH (Carga Neta de Succion Positiva) disponible y requerido del sistema de Bombeo.
- Determinar el factor de carga del sistema de bombeo para cada capacidad proyectada.
- Calcular la inversión del proyecto.

1.7. JUSTIFICACION DEL ESTUDIO

Actualmente la empresa san Jacinto tiene proyectado el incremento de su capacidad productiva y de manera escalonada en escenarios de 3000 TCD, 4000 TCD, 4500 TCD Y 5340 TCD y la hace posible mediante un estudio técnico económico y de factibilidad mediante la adquisición de un turbo generador de 21.7 MW con la cual se busca alcanzar un nuevo margen de productividad.

Considerando que el flujo de condensados de los pre evaporadores representa aproximadamente el 88% del agua de alimentación de las



calderas, nos refleja la importancia de tener un sistema de bombeo eficiente con un dimensionamiento de para los futuros incrementos de molienda, lo que significa el aumento de caudal de condensados de estos equipos, por ende un posible redimensionamiento del sistema de bombeo.

Contar con equipos sobredimensionados y en mal estado en sus procesos, hacen que en agroindustrias san Jacinto se generen costos elevados que se ven reflejados en las facturaciones mensuales de energía. En la actualidad una industria, al margen que genere su propia energía, no se puede dar el lujo en producir energía que no es aprovechado en sus procesos, eso haría que no sea una empresa competitiva en el mercado.

Conseguir que el ingenio de san Jacinto dimensione óptimamente sus equipos con una mejor eficiencia es un paso gigante para ingresar al proyecto que disminuyen la emisión de gases, contribuyendo a reducir el efecto invernadero que causa el calentamiento global, pensando en los bonos de carbono que podrían obtener. Dicho esto contribuiría en reducir el nivel de contaminación que sufren los moradores del AA.HH Santa Rosa, ubicado en la parte posterior de la planta, que en la actualidad sufren las consecuencias de la contaminación producto de los gases de combustión emitidos a través de las chimeneas de las calderas.



CAPITULO II
MARCO TEÓRICO



2.1. FUNDAMENTOS TEORICOS DE LA INVESTIGACION

2.1.1. PRODUCCION DE VAPOR.

En todo ingenio azucarero es importante la producción de vapor debido a que se lo utiliza en la generación eléctrica y en la producción de azúcar. Por lo que es indispensable el uso de calderas que proporcione un flujo de vapor a presión y temperatura constante.

A nivel de ingenios azucareros se manejan distintas presiones de vapor de operación para calderas, describiremos para nuestro caso calderos que operan a 600 PSI. Quesquén (2015:9) .

A. CALDERA.

El término caldera se aplica a un dispositivo para generar vapor para procesos industriales, calefacción, para uso general o para generación de energía eléctrica. En términos generales, la caldera se le considera un generador de vapor.

Las calderas para producción de vapor, por el contenido de los tubos, se clasifican en calderas pirotubulares en ellas el fuego o los gases de combustión pasan por el interior de los tubos y el agua está en el exterior.

En las calderas acuotubulares el agua pasa por el interior de los tubos y los gases calientes, producto de la combustión, pasan por el exterior a fin de transferir el calor necesario para elevar la temperatura y llevar a su punto de ebullición dicho líquido, en la figura 01 se hace un esquema donde se visualizan las partes más importantes de una caldera acuotubular- de dos domos, caso típico de la planta termoeléctrica en mención. Sánchez y Quesquén (2015:9).

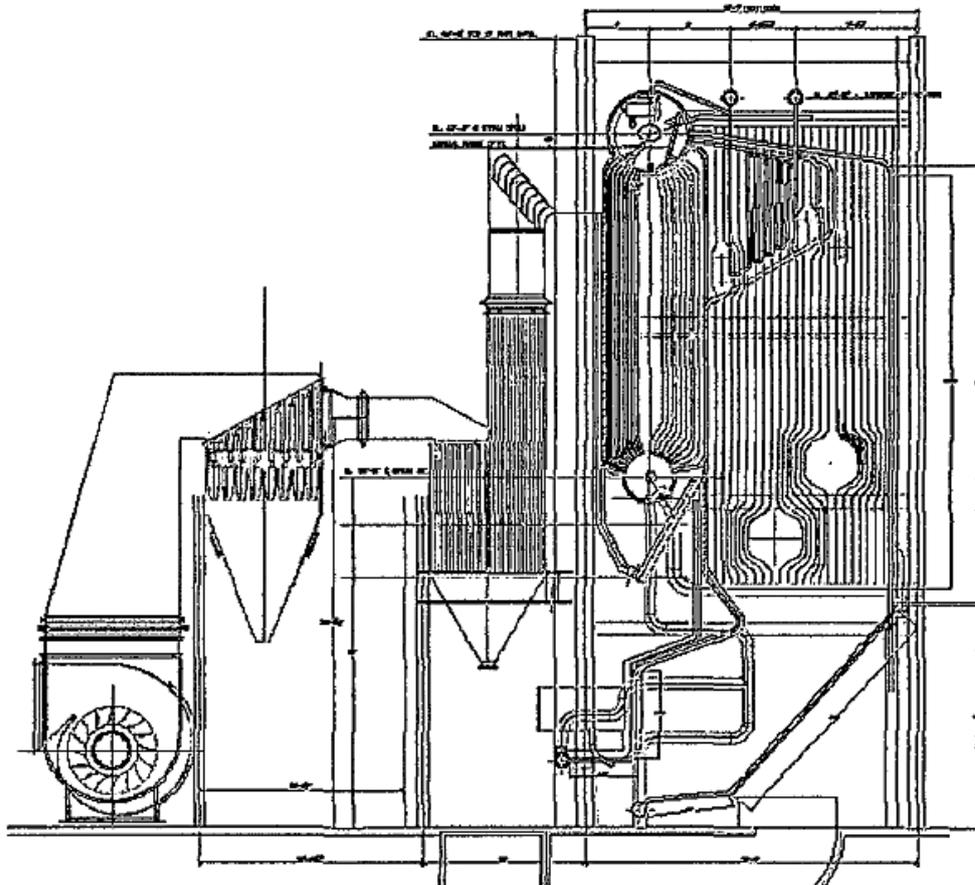


Figura 01. Caldera acuotubular Foster Wheeler N°01

Fuente: Departamento de Ingeniería – Agroindustrias San Jacinto S.A.A

2.1.2. EXTRACCION DE JUGO

La extracción del jugo se lleva a cabo en los molinos y consiste en la compresión de la fibra de caña entre cilindros de gran tamaño llamados mazas. Sánchez y Quesquén (2015:20).

A. MACHETES Y DESFRIBRADOR

Son equipos que alrededor de su eje llevan instaladas cuchillas las cuales son usadas para cortar la caña, que va ingresando como materia prima, en tamaño y proporción adecuada antes de ingresar al desfibrador y luego a los molinos. Sánchez y Quesquén (2015:22).



B. MOLINOS

Son estructuras compuestas por Vírgenes (bases metálicas que brindan el soporte a los ejes que mueven las mazas). Cada molino posee 3 mazas. Los molinos se colocan de forma tal que la fibra que sale de un molino sea acarreada por un conductor intermedio y entra a un siguiente molino, de esta manera se logra extraer la mayor cantidad de sacarosa que contiene la fibra.

Son cilindros acanalados contruidos de hierro fundido y acero con un peso de aproximadamente 10 toneladas. La compresión de la caña se da por el propio peso de las masas y por la presión que ejerce un pistón sobre la masa superior, la cual varía de 1800 psi en el primer molino hasta 3200 psi en el quinto molino aproximadamente. Sánchez y Quesquén (2015:24).

2.1.3. EVAPORACION DEL JUGO

El jugo clarificado contiene del 15 al 20% de sólidos, según la concentración del jugo original de la caña y el procedimiento de maceración empleado. Para conseguir la formación de cristales de azúcar el jugo debe ser concentrado hasta el estado de mieles. Para alcanzar tal condición es necesario eliminar la totalidad del agua presente.

En la Evaporación, por medio de intercambio de calor con vapor de baja presión (20 psi), el jugo se concentra en un jarabe de uso llamado Meladura (no saturado). El proceso se da en varias etapas. Es común el uso de 5 cuerpos de evaporación dispuestos en serie en los cuales el jugo fluye por diferencia de presión en los cuerpos.



A. EVAPORADORES

El evaporador consiste en un intercambiador de calor de gran tamaño dotado de espejos en su nivel medio e inferior y de tubos verticales que conforman el área de calefacción en que el jugo en la parte interna de los tubos recibe el calor proporcionado por vapor de baja presión que fluye externamente. Como se mencionó anteriormente, el flujo del jugo por los diferentes cuerpos se da por diferencia de presión.

Esta etapa consiste en evaporar el agua contenida en el jugo utilizando vapor, y se realiza a través de sistemas de múltiple efecto. Los jugos se calientan y evaporan hasta un 60 a 65 % de sólidos, primero en los pre-evaporadores y luego en los evaporadores y meladoras.

En los pre evaporadores, se calienta el jugo con vapor de 24 Psig que pasa por las calandrias y una presión de vacío del cuerpo evaporador de 13 pulg. de Hg.

Luego el jugo se concentra en los evaporadores de quintuplo efecto, los tres primeros cuerpos se llaman evaporadores y las dos siguientes meladoras. Estos evaporadores trabajan al vacío, el vacío es obtenido por un condensador de columna barométrica, otorgando así en el último efecto un vacío de 24 a 25 pulg. de Hg De los meladores, el jarabe se almacena en unos tanques (8 tanques).

Para hacer azúcar blanca, después del tercer efecto el jugo va al tanque cuarto efecto y de ahí al tanque clarificador (solo para azúcar blanca) donde se le agregan azufre, ácidos y otros. Del tanque de clarificado el



jugo es bombeado al melador para luego pasar al 5^{to} Efecto. Sánchez y Quesquén (2015:25).

B. TACHOS

Son evaporadores al vacío de efecto sencillo diseñados para la manipulación de materiales viscosos. Al igual que los evaporadores se componen de un cuerpo provisto internamente de tubos verticales soportados por espejos en sus extremos.

El tacho es un cristalizador evaporador en el que el grado de sobresaturación se controla y se mantiene por medio de la evaporación del disolvente, en tanto que el material disuelto cristaliza. Sánchez y Quesquén (2015:26)

2.1.4. ESTACION DE BOMBEO

Se define a las estaciones de bombeo como el conjunto de estructuras civiles, equipos, tuberías y accesorios, que toman el agua directa o indirectamente de la fuente de abastecimiento y la impulsan a un reservorio de almacenamiento o directamente a la red de distribución.

Se puede definir también como un conjunto de elementos que permiten el transporte a través de tuberías y el almacenamiento temporal de los fluidos, de forma que se cumplan las especificaciones de caudal y presión necesarias en los diferentes sistemas y procesos. Esta publicación se limita al estudio del transporte de fluidos newtonianos incompresibles, y más concretamente de líquidos.

Los componentes básicos de una estación de bombeo de agua potable son los siguientes:



Tanque de bombeo.

- Equipo de bombeo.
- Grupo generador de energía y fuerza motriz.
- Tubería de succión.
- Tubería de impulsión.
- Válvulas de regulación y control.
- Interruptores de máximo y mínimo nivel.
- Tableros de protección y control eléctrico.

OPS-COSUDE (2007:3).

A. LA BOMBA CENTRIFUGA

A.1. DEFINICION:

OPS-COSUDE (2007:4), define a la bomba centrífuga como un elemento móvil, denominado impulsor, donde un cierto número de alabes, dirigen el movimiento de las partículas de líquido. El impulsor gira en una cámara cerrada denominada caja o carcasa debido a la energía conferida por un motor, que puede ser eléctrico o de combustión interna. El líquido contenido entre los alabes, por efecto de la fuerza centrífuga, incrementa su energía cinética la cual se transforma parcialmente en energía potencial en la carcasa de la bomba.

Para la conversión de velocidad en presión, se emplean los difusores, las volutas o los tazones, dependiendo del diseño de la bomba. Cuando se emplea un difusor, este consta de varios canales de sección variable que rodean al impulsor, fabricados en una sola pieza, tal como se observa en la Figura 2a.

Cuando el canal es único, este tiene generalmente la forma de un espiral de sección variable y recibe el nombre de "caracol" o voluta, tal como se muestra en la Figura 2b. En el caso de los tazones, los canales además de servir como medio para la conversión de caudal en presión, se utilizan como medio de conducción del líquido para la etapa siguiente.

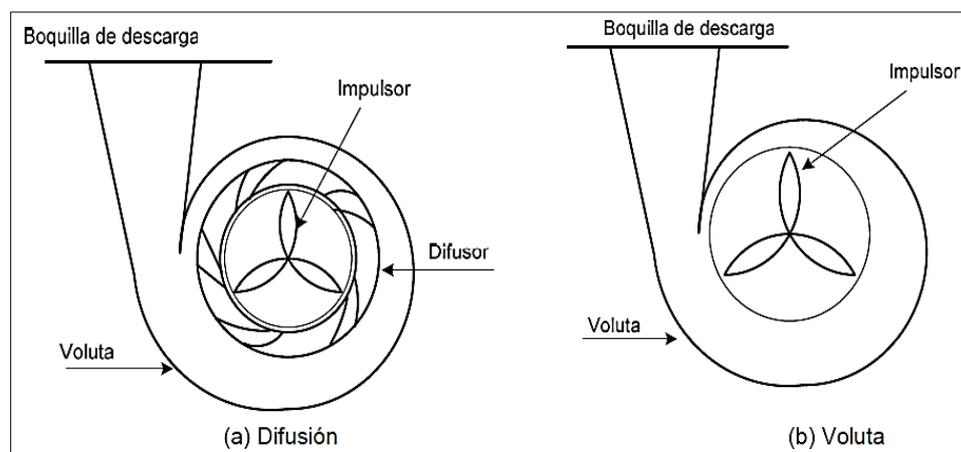


Figura 02. Tipos de carcasa bombas centrífugas.

Fuente: OPS - COSUDE/04-07

Se denota que también en el impulsor se produce un incremento de la presión, ya que a medida que el líquido se desplaza hacia afuera su velocidad aumenta al incrementarse la sección de los canales entre dos alabes, por el aumento a diámetros mayores. Por tanto, en una bomba centrífuga se producen aumentos de presión tanto en el impulsor como en el difusor o voluta; en consecuencia el diferencial de presión que es capaz de desarrollar una bomba centrífuga, depende además del diseño, de la velocidad de rotación y del diámetro del impulsor.



2.1.5. CLASIFICACION DE BOMBAS CENTRIFUGAS

Según OPS- COSUDE (2007:6), haciendo la salvedad que las bombas axiales no son bombas centrifugas, pero por tener un funcionamiento muy similar a ellas se han incluido en esta clasificación.

1. DE ACUERDO A LA ADMISIÓN DEL LIQUIDO

1.1. BOMBA DE FLUJO RADIAL

El líquido entra axialmente en el impulsor a través de la boquilla de aspiración y es descargado radialmente hacia la carcasa de la bomba (Figura 03). Se utilizan impulsores radiales que pueden ser del tipo abierto, semiabierto o cerrado (Figura 04). Se emplean cuando se requiere bombear líquidos a alturas entre intermedias y elevadas. En algunos tipos de bomba el flujo de ingreso también es en forma radial.

1.2. BOMBA DE FLUJO MIXTO

El líquido entra axialmente en el impulsor y es descargado en una dirección intermedia entre la radial y la axial. Se utilizan impulsores radiales que pueden ser del tipo abierto o cerrado. Se emplean en servicios que requieren bombear a alturas intermedias (Figuras 03 y 04).

1.3. BOMBA DE FLUJO AXIAL

El líquido entra y sale del impulsor en forma axial. Se utilizan para bombear grandes caudales a poca altura, especialmente agua potable o aguas residuales tratadas. Son menos caras que las de flujo radial o mixto (Figuras 03 y 04).



2. DE ACUERDO AL TIPO DE IMPULSOR

2.1. BOMBA DE IMPULSOR ABIERTO

Los alabes son libres en ambas caras y están sujetas por un anillo central por donde ingresa el líquido. Sus aplicaciones son en agua potable y en líquidos residuales. Son de mantenimiento sencillo por el fácil acceso a los alabes de la bomba. Las principales desventajas son su debilidad estructural y la baja eficiencia en comparación con la de un impulsor cerrado, pero tiene la ventaja que puede dejar pasar restos de materiales relativamente grandes sin obstruirse (Figura 04)

2.2. BOMBA DE IMPULSOR SEMI ABIERTO

En este caso, los alabes son libres en una de las caras y fijados por el otro en un disco, su uso es apropiado en líquidos viscosos y en aguas residuales, tienen mayor resistencia a la abrasión que los impulsores cerrados. Presentan mayor facilidad y menor costo de mantenimiento que los impulsores cerrados, y tienen mayor estabilidad que los impulsores abiertos (Fig. 4).

2.3. BOMBA DE IMPULSOR CERRADO

El impulsor está constituido de dos discos paralelos que encierran totalmente las vías del agua desde el orificio de succión hasta la periferia del impulsor. El flujo en el impulsor es mejor orientado y el rendimiento es mayor. Su aplicación es recomendable en líquidos limpios, ya que tiene poca resistencia a la abrasión. Cuando se emplean en líquidos residuales se utilizan el del tipo inatascable.



3. DE ACUERDO CON EL MODO DE INGRESO DEL AGUA EN EL IMPULSOR

3.1. BOMBA CON IMPULSOR DE SUCCIÓN ÚNICA

Un solo orificio de succión y son utilizados en pequeñas instalaciones de agua potable y De acuerdo con aguas residuales.

3.2. BOMBA CON IMPULSOR DE SUCCIÓN DOBLE

Dos impulsores simples son instalados en paralelo, dorso contra dorso, cada una trabajando con la misma altura de elevación y con la mitad del caudal total. Se utilizan en aplicaciones de grandes capacidades (Figura 04).

4. DE ACUERDO CON EL NÚMERO DE ETAPAS DE DESCARGA

4.1. BOMBA DE ETAPA SIMPLE

Tienen un único impulsor, son aplicados cuando no se necesita elevar el líquido a grandes alturas.

4.2. BOMBA DE DOS O MÁS ETAPAS

Tienen dos o más impulsores instalados en serie, con la descarga de uno haciéndose en la succión del siguiente. El caudal de bombeo es el mismo en todas las etapas. La altura de elevación total es la suma de la altura de elevación de cada impulsor. Pueden ser construidas con el eje horizontal o vertical. Son aplicadas en instalaciones de agua potable y aguas residuales de gran altura de elevación (Figura 03).

5. DE ACUERDO CON LA POSICIÓN DE LA BOMBA

5.1. BOMBA DE EJE HORIZONTAL

Son las más comunes y de aplicación a todos los fines.



5.2. BOMBA DE EJE VERTICAL

5.2.1. No sumergidas, las cuales son aplicadas cuando se quiere economizar espacio y son instaladas en pozo seco bajo el nivel de la superficie del suelo.

5.2.2. Sumergidas, las cuales trabajan sumergidas en un pozo de succión, accionadas (a través de un eje de transmisión) por un motor situado en un pozo seco.

5.3. BOMBA Y MOTOR SUMERGIDO

Trabajan sumergidos en un pozo de succión, con el motor por debajo del cuerpo de la bomba y no son directamente inspeccionables.

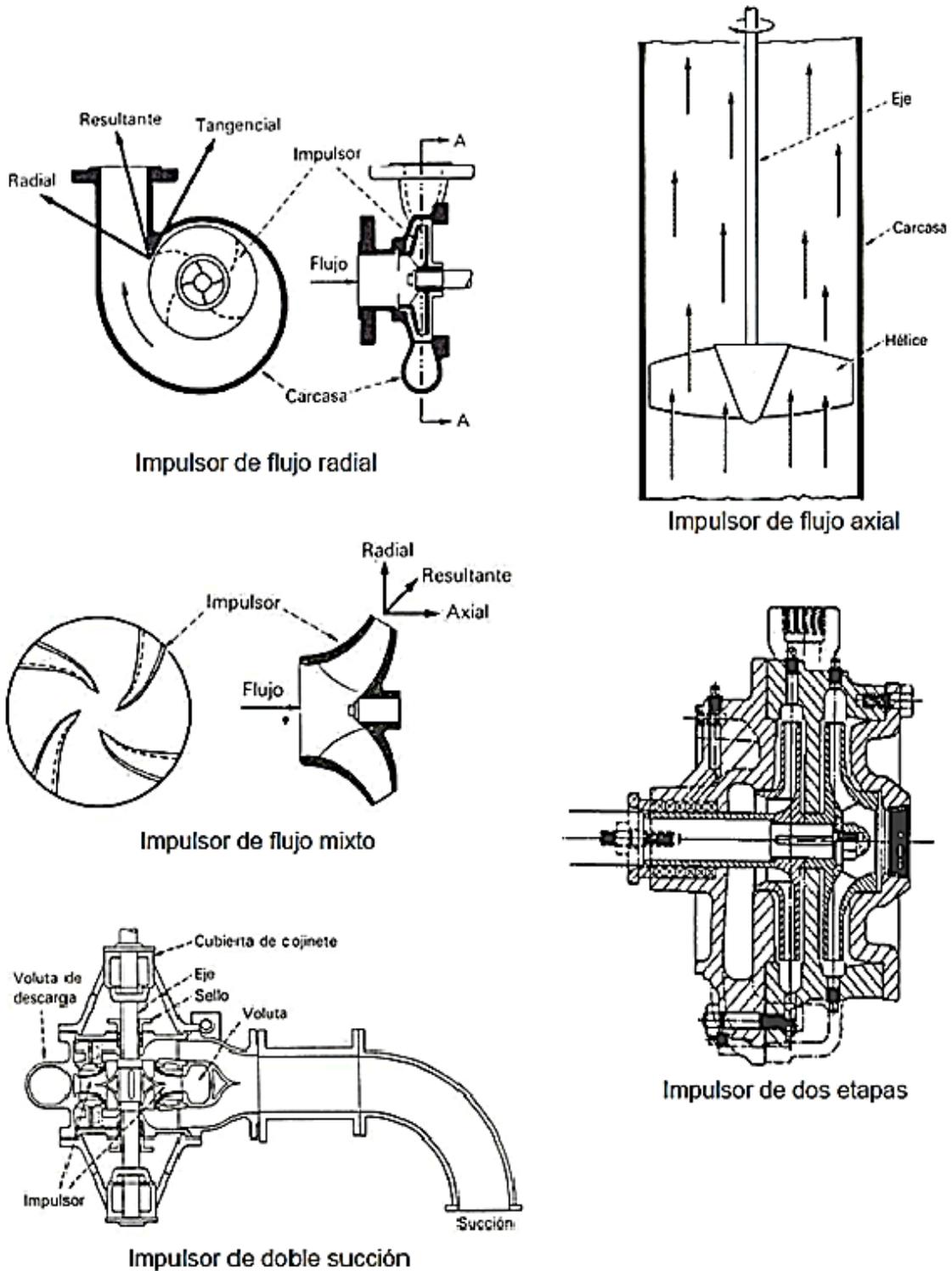


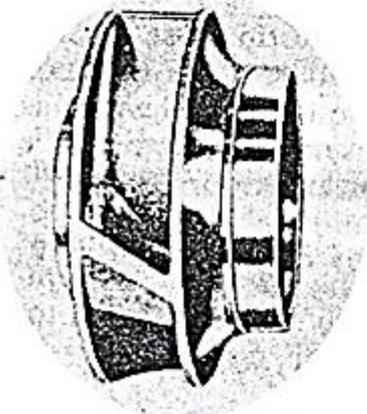
Figura 03. Tipos de impulsores
Fuente: OPS - COSUDE/04-07



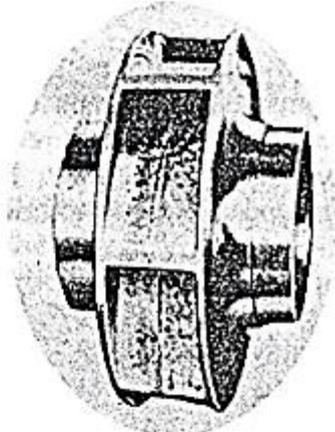
Impulsor abierto de flujo radial



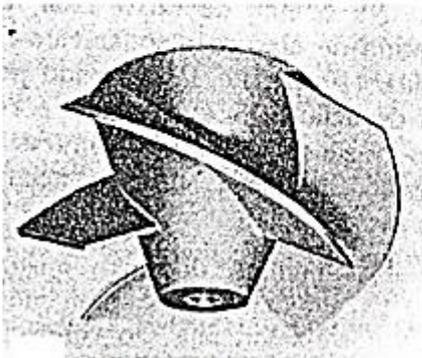
Impulsor semiabierto de flujo radial



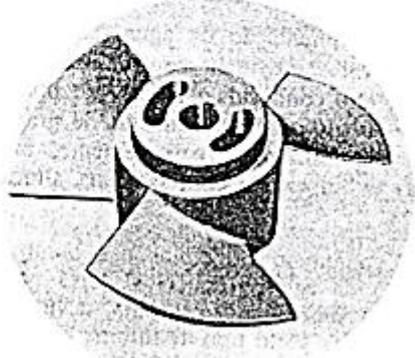
Impulsor cerrado succión simple de flujo radial



Impulsor cerrado de doble succión de flujo radial



Impulsor de flujo mixto



Impulsor de flujo axial abierto

Figura 04. Tipos de impulsores
Fuente: OPS - COSUDE/04-07



A. MOTORES DE ALTA EFICIENCIA

Según Quispe (2004:6) establece que, aunque no existe una definición unificada mundialmente sobre lo que es un motor de alta eficiencia, una revisión histórica de su desarrollo nos permite tener una noción más clara de este concepto.

Hasta el año 1960 los diseñadores y fabricantes de motores de inducción siguieron la tendencia de diseñar los motores con el objetivo de conseguir una alta eficiencia, a pesar de que en ese entonces los materiales no tenían un gran desarrollo el diseño electromagnético centrado en la eficiencia consiguió que se fabriquen motores de eficiencias aceptables. El bajo costo de la energía eléctrica en aquella época hacía que la eficiencia no fuera un parámetro que incidiera en los costos de operación. Por eso durante el periodo de 1960 hasta 1975 los fabricantes cambiaron su tendencia y se centraron a diseñar motores para conseguir un costo mínimo, sobre todo en el rango de 1 a 250 HP. Con este objetivo se disminuyó la cantidad de material activo, y los materiales fueron seleccionados para cumplir mínimos requerimientos de eficiencia. En este contexto en 1977 NEMA recomendó marcar la placa de los motores trifásicos con una EFICIENCIA NOMINAL NEMA. La Tabla 1 muestra los rangos de eficiencia para motores trifásicos de Diseño NEMA B, aquí se define un valor mínimo para la eficiencia para cada nivel de eficiencia.

La crisis energética que ocurrió en la década del 70 hizo que los costos de la energía eléctrica empiecen a incrementarse a un ritmo de aproximadamente 12% anual. En este contexto los costos de operación de



un motor por consumo de energía hicieron que la eficiencia sea un parámetro importante en la selección del motor. En este contexto en el año 1974 algunos fabricantes empezaron a usar métodos para diseñar motores con una eficiencia mayor que la exigida por la Norma NEMA. Así se diseñó una línea de motores de alta eficiencia con pérdidas 25% menores que el motor promedio diseño NEMA B, esto se llamó la primera generación de motores de alta eficiencia. Luego del desarrollo de esta primera generación de motores de alta eficiencia, muchos fabricantes entraron en la tendencia de diseñar motores con el objeto de obtener una alta eficiencia, usando un diseño, materiales y procesos de fabricación mejorados. Cada fabricante identificó a su motor con un nombre.

En 1992 en USA se expidió el documento Energy Policy Act of 1992 (EPACT'92). En cuanto a los motores el EPACT cubre motores de inducción

de jaula de ardilla de 1 a 200 HP, de 2,4 y 6 polos y de propósito general diseños nema A y B. Las eficiencias mínimas exigidas por el EPACT esta escritas en la Tabla 12-10 de la Norma NEMA MG1.1997.



TABLA 01.

Eficiencia nominal mínima de motores trifásicos de inducción de alta eficiencia TEFC de acuerdo al EPACT.

HP	6 polos	4 polos	2 polos
5	87.5	87.5	87.5
10	89.5	89.5	89.5
25	91.7	92.4	91
50	93	93	92.4
75	93.6	94.1	93
100	94.1	94.5	93.6
150	95	95	94.5
200	95	95	95

Fuente: Revista energía y computación, Nro. 1 (2004)

B.1. SELECCIÓN DE MOTORES DE ALTA EFICIENCIA

1. DECISIÓN INICIAL DE COMPRA

Cuando se considera la posibilidad de compra de un nuevo motor eléctrico, el ingeniero responsable de la decisión debe valorar la rentabilidad económica de pagar un costo adicional por el motor de alta eficiencia frente al ahorro derivado de un menor consumo energético. Un aspecto principal en esta decisión es el tiempo de amortización de la inversión. Normalmente estas iniciativas de ahorro industrial consideran dos o tres años el periodo de tiempo necesario para reintegrar el dinero invertido. Para el especialista el criterio de operación que determina la idoneidad de una u otra elección es el número de horas de trabajo del motor. Los motores escasamente utilizados (por ejemplo, motores de accionamiento de válvulas de control) por baja potencia requerida y/o pocas horas de trabajo no serán candidatos a elegir para ser motores de alta eficiencia. Sin embargo, los que operen de tal forma que determinen



un consumo energético elevado serán una buena oportunidad de instalar un motor de alta eficiencia. Considerando valores medios de carga del motor (70%), de mejora de eficiencia entre el motor estándar y el motor de alta eficiencia (entre el 2% al 5%), de costo de compra del motor, de periodo de amortización de tres años y del precio de la energía, puede indicarse que es interesante la compra de un motor de alta eficiencia en los siguientes casos:

- En los motores entre 10HP y 75HP cuando operan 2500 horas anuales o más.
- En los motores de potencias distintas a las anteriores (pequeños y grandes motores) cuando operan 4500 horas o más. Quispe (2004:7)

2. REPARAR O REEMPLAZAR

Cuando un motor falla se presentan tres alternativas: reparar el motor averiado, comprar un nuevo motor de eficiencia estándar o comprar un nuevo motor de alta eficiencia. La alternativa de reparación parece ser, a primera vista, la más oportuna por cuanto su costo es inferior a una nueva compra, sin embargo, está constatado que en la mayoría de las ocasiones el rebobinado de un motor conduce a una pérdida de rendimiento, en algunos casos importante, y adicionalmente una menor fiabilidad de funcionamiento, en cuanto que se disipa mayor calor y el motor soportará mayores exigencias. Todas estas variaciones en las pérdidas de potencia del motor son debidas a los calentamientos necesarios para retirar el bobinado dañado y a errores o modificaciones de dimensionamiento del tamaño del calibre del conductor y de topología del devanado. Estudios de



General Electric sobre motores de 3 a 150 HP han determinado que las pérdidas se incrementan un 18%, es decir, que la eficiencia empeora entre 1,5% y 2,5%. La decisión de sustituir el motor averiado por un motor de alta eficiencia es compleja porque depende de varias variables, como el costo de reparación, la variación del rendimiento, el precio del nuevo motor, la eficiencia original del motor instalado, el factor de carga, las horas de operación anuales, el precio de la energía y el criterio de amortización. No obstante, indicaremos algunas claves en esta elección:

- Relacionarse con talleres de reparación calificados para la obtención de información fiable. Los motores menores de 40HP y más de 15 años de utilización, o también los motores menores de 15HP, son candidatos a ser reemplazados. Si el costo de rebobinado supera el 50% del costo de un motor nuevo, se deberá sustituir por uno nuevo.

6.3 Motores poco cargados o sobrecargados Los motores industriales no suelen funcionar a plena carga, pruebas de campo de la California Energy Commission llevadas a cabo. en cuatro plantas industriales nos indican que por término medio los motores eléctricos operan al 50% de su carga asignada. Es común que las industrias instalen motores de mayor potencia a la requerida por varias razones prácticas:

- Prevención indirecta de fallos en procesos críticos.
- Desconocimiento de la carga real del motor en la elección de éste.
- Previsión de futuras ampliaciones productivas.
- Por reducciones posteriores de producción.



• Por sustitución de un motor previamente fallido que era de menor potencia. En cuanto a los motores poco cargados, debe advertirse que no siempre su eficiencia es menor, excepto cuando la carga sea acentuadamente pequeña (menor del 25%) Por ello, cuando la carga supera el 50% no se pueden dar recomendaciones simples de sustitución de éstos motores. En todo caso su factor de potencia es menor y esto afecta a las pérdidas en la distribución eléctrica Los costos extra indeseables de estos motores son: mayor costo de adquisición del motor y su equipamiento y mayor costo de consumo energético por la reducción de la eficiencia del motor y el sistema eléctrico (factor de potencia) En muchas ocasiones resulta económicamente interesante sustituir un motor poco cargado por un motor de alta eficiencia o incluso por un motor de eficiencia normal. Quispe (2004:8)

B.2. VENTAJAS, LIMITACIONES Y APLICABILIDAD DE LOS MOTORES DE ALTA EFICIENCIA

1. VENTAJAS

- El hecho de que se tenga una eficiencia mayor significa que se disminuye los costos de operación del motor y se puede recuperar la inversión adicional en un tiempo razonable, sobre todo si se opera a una carga cercana a la potencia nominal. Recuerde que en un año el costo de la energía es aproximadamente seis veces el costo de compra del motor.
- Los motores de alta eficiencia poseen generalmente un menor deslizamiento (mayor velocidad de operación) que los motores de eficiencia estándar, debido a los cambios que se producen en los



parámetros del motor. La mayor velocidad puede ser ventajosa en muchos casos, pues mejora la ventilación.

- Los motores de alta eficiencia son normalmente más robustos y mejor construidos que los motores estándar, lo que traduce en menores gastos en mantenimiento y mayor tiempo de vida. Quispe (2004:8)

2. LIMITACIONES

- El hecho de que los motores de alta eficiencia operan a una velocidad mayor, puede ocasionar un incremento en la carga, sobre todo cuando se accionan ventiladores o bombas centrífugas, este hecho debe valorarse en cada situación.

- El momento de arranque y el momento máximo son en algunos diseños ligeramente mayores y en otros ligeramente menores, por lo tanto es necesario analizar detalladamente en cada aplicación.

La corriente de arranque suele ser mayor. Esto puede provocar que se sobrepasen los límites máximos de caída de voltaje en la red. También puede influir en la capacidad de los equipos de maniobra, aunque muchas veces se puede operar con los mismos que se usan con los motores estándar y en ocasiones sólo resulta necesario cambiar los elementos térmicos.

- La corriente transitoria en el arranque, que tiene su máximo en el primer medio ciclo, se incrementa debido a la tendencia a un mayor valor de la relación X/R . Aunque esta corriente puede no afectar el tamaño del arrancador, si se afecta el disparo instantáneo del interruptor del motor,



por lo que hay que buscar un compromiso entre la coordinación del interruptor y los disparos del arranque.

- El factor de potencia del motor puede ser menor que un motor estándar. Un estudio reciente realizado por Bonnett (1997) encontró que los motores de alta eficiencia construidos en USA, en el intervalo de 3 a 10 HP tienen un factor de potencia mayor que los estándares, inferior en el intervalo de 15 a 40 HP, aproximadamente igual de 50 a 100 HP y de nuevo menor de 125 HP en adelante. Quispe (2004:9)

3. APLICABILIDAD

Los motores de alta eficiencia pueden aplicarse favorablemente en los siguientes casos:

- Cuando el motor opera a una carga constante y muy cerca del punto de operación nominal.
- Cuando se usan para reemplazar a motores sobredimensionados.
- Cuando se aplican conjuntamente con Variadores electrónicos de frecuencia (Variable Frequency Drives) para accionar bombas y ventiladores, pueden lograr ahorros de hasta más del 50% de la energía.
- Como parte de un Programa de Uso eficiente de la Energía Eléctrica.
- En instalaciones nuevas. Quispe (2004:9)

2.1.6. ECUACIONES BÁSICAS

La resolución de la mayor parte de los problemas de la dinámica de fluidos pasa a través de las ecuaciones de continuidad, cantidad de movimiento y energía. Estas ecuaciones se obtienen de aplicar la



concepción Euleriana a la ley de conservación de masa, a la segunda ley de Newton y a la primera ley de Termodinámica, respectivamente.

Aquí también se tomaran en cuenta las ecuaciones para hallar los caudales de los condensados y al final las ecuaciones para la evaluación económica.

A. CAUDALES

Mediante un balance de energía se determinaron las siguientes caudales de condensados para la actualidad y para el futuro:

$$Q = CVF \dots (1)$$

$$CVF = TCH \times \text{Ratio} \dots (2)$$

$$TCH = \frac{TCD}{HM} \dots (3)$$

Dónde:

$Q = CVF$ (Consumo de vapor de Fábrica)

$TCH =$ Toneladas de Caña Hora.

$\text{Ratio} = \left(\frac{V_{\text{vap}}}{TCH}\right)$ Ratio (lb/h / TCH)

$TCD =$ Toneladas de Caña Día.

$HM =$ Horas de Molienda (h)

B. ECUACIÓN DE CONTINUIDAD

Según Mataix (1975:94) establece, que la ecuación de continuidad en el caso de flujo en conductos, muchas veces se puede aceptar que el flujo es estacionario y que la velocidad es uniforme en una sección transversal.

Para el cálculo se toma la velocidad media en cada sección, con la



dirección del eje del conducto y perpendicular, por tanto, a la sección normal. La ecuación de continuidad entre 1 y 2 de un conducto, se reduce a lo siguiente:

$$\rho_1 A_1 V_1 = \rho_2 A_2 V_2 \dots (4)$$

Dónde:

V = Velocidad

A = Área transversal del tubo de corriente o conducto (m²)

Siendo:

$$A = \frac{\pi D^2}{4} \dots (5)$$

Dónde:

D: Diámetro de tubería (m)

C. PÉRDIDAS LINEALES O PÉRDIDAS PRIMARIAS

Las pérdidas lineales son las producidas por el rozamiento del fluido con las paredes de la tubería. En un tramo de tubería de sección constante, se plantea el equilibrio de las presiones con el esfuerzo cortante en la pared.

D. ECUACION DE HAZEN - WILLIAMS

La fórmula de Hazen-Williams, también denominada ecuación de Hazen-Williams, se utiliza particularmente para determinar la velocidad del agua en tuberías circulares llenas o conductos cerrados, es decir que trabajan a presión.

$$h_F = \frac{1760 L \left(\frac{Q}{C}\right)^{1.43}}{D^{4.87}} \dots (6)$$

L = Longitud de la tubería (m)



Q = Caudal (l/s)

C = Coeficiente que depende de la rugosidad del tubo

D_i = Diámetro interior de la tubería (pulg.)

Esta ecuación se limita por usarse solamente para agua como fluido de estudio, mientras que encuentra ventaja por solo asociar su coeficiente a la rugosidad relativa de la tubería que lo conduce, o lo que es lo mismo al material de la misma y el tiempo que este lleva de uso.

E. PÉRDIDAS SINGULARES O SECUNDARIAS

Según Mataix (1975:94), denomina a las pérdidas singulares las originadas en las entradas y salidas de las tuberías, codos, válvulas, cambios de diámetro, etc. Normalmente son pequeñas comparadas con las pérdidas por fricción, pero para longitudes cortas pueden ser relativamente importantes. Hay dos formas de calcularlas: proporcionales a la energía cinética, o como un aumento ficticio de la longitud de la tubería.

F. EL METODO DEL "K"

Viene dada por la siguiente ecuación:

$$h_f = K \frac{V^2}{2g} \dots (7)$$

Dónde: h_f es la pérdida localizada y K es un coeficiente adimensional los que se encuentran tabulados en la literatura técnica especializada, o deben ser proporcionados por los fabricantes de piezas para conducciones.



Además de la liberación continua de la energía que ocurre con el movimiento del agua en cualquier conducto, existen las pérdidas locales (localizadas, accidentales o particulares). Como el propio nombre lo indica, estas pérdidas ocurren en los conductos, en secciones muy próximas, entre las cuales cualquier dispositivo o causa perturbadora aumenta la turbulencia. Estas causas perturbadoras son, principalmente, la variación de forma, dirección o de la sección del conducto.

En la práctica, además de que los conductos no son rectilíneos, usualmente se emplean en piezas especiales y conexiones que, en virtud de su forma y disposición, provocan pérdidas locales, normalmente dichas piezas son las válvulas, medidores y curvas diversas.

Las pérdidas de carga a las pérdidas continuas, pero es posible ignorarlas cuando la velocidad del agua es pequeña ($V < 1.0$ m/s), cuando la longitud del conducto es mayor a 4000 veces el diámetro o cuando existen pocas piezas en el circuito hidráulico en estudio.

Considerar o no las pérdidas de carga locales depende del ingeniero, teniendo presente la proporción de estas pérdidas y su propia experiencia profesional.

G. PRINCIPIOS HIDRAULICOS

Se pueden definir los siguientes conceptos (Hidrostral, 2009:catálogo electrónico):



G.1. CAUDAL:

Es el volumen de líquido desplazado por la bomba en la unidad tiempo, se expresa generalmente en litros/segundos, metros cúbicos/hora, galones por minuto, etc.

G.2. ALTURA ESTÁTICA DE SUCCIÓN (S):

Es la distancia vertical en metros a la que se encuentra el líquido en el reservorio de succión por encima del eje de la bomba.

G.3. ALTURA ESTÁTICA DE ELEVACIÓN (s):

Es la distancia vertical en metros a la que se encuentra el líquido en el reservorio de succión por debajo del eje de la bomba.

G.4. ALTURA ESTÁTICA DE DESCARGA (D):

Es la distancia vertical en metros entre el eje de la bomba y el punto de entrega libre del líquido.

G.5. ALTURA ESTÁTICA TOTAL (hsd):

Es la distancia vertical en metros que existe entre los niveles de los reservorios de succión y descarga.

Es decir:

$hsa = D - S$, en instalaciones con altura de succión.

$hsa = D + S$, en instalaciones con elevación de succión.

G.6. ALTURA DE SUCCIÓN (hs)

Se dice que existe cuando el nivel del líquido a bombear se encuentra por encima del eje de la bomba. Se define como la altura estática de succión (S) menos todas las pérdidas en la línea de succión (hfs) más cualquier



presión (el vacío es considerada como un valor negativo) existente en el nivel del líquido a bombear. Ver figura 5a. y figura 5b.

G.7. ELEVACION DE SUCCION (hs):

El término de elevación de succión se emplea normalmente cuando el nivel del líquido a bombear está por debajo del eje de la bomba y se encuentra a la presión atmosférica.

Es definido como la altura estática de elevación(S) más todas las pérdidas existentes en la línea de succión (hfs).

Ver figura 5c.

G.8. ALTURA DE DESCARGA (hd):

Se define como la suma de la altura estática de descarga (D) más todas las pérdidas en la línea de descarga (hfd) más la presión en el recipiente de descarga (si es cerrado) más la pérdida que se genera en la salida de la tubería de descarga.

G.9. ALTURA DINAMICA TOTAL (H o ADT)

Es la energía neta transmitida al fluido por unidad de peso a su paso por la bomba centrífuga, expresada en unidades de longitud. Esta energía absorbida por el líquido, es la que necesita para vencer la altura estática total más las pérdidas en las tuberías y accesorios del sistema. Se expresa comúnmente en metros (m) y en pies de columna del líquido bombeado.

Se calcula como sigue en las siguientes ecuaciones:

En instalaciones con elevación de succión:

$$H \text{ o } ADT = hd + hs \dots (8)$$



En instalaciones con altura de succión:

$$H \text{ o ADT} = h_d - h_s \dots (9)$$

Resumiendo:

$$H = h_d \pm h_s \dots (10)$$

$$h_s = S + \Sigma P_s + P_s \dots (11)$$

$$h_d = D + \Sigma P_d + P_d \dots (12)$$

$$\Sigma P_s = h_{Fs} + h_{fs} \dots (13)$$

$$\Sigma P_d = h_{Fd} + h_{fd} \dots (14)$$

Dónde:

H = Altura dinámica Total (m)

h_d = Altura de descarga (m)

h_s = Altura de succión (m)

D = Altura estática de descarga (m)

S = Altura estática de succión (m)

ΣP_d = Sumatoria de pérdidas en la descarga (m)

ΣP_s = Sumatoria de pérdidas en la succión (m)

h_{Fs} = Pérdidas primarias (por fricción en la línea)

h_{fs} = Pérdidas secundarias (por accesorios en la línea)

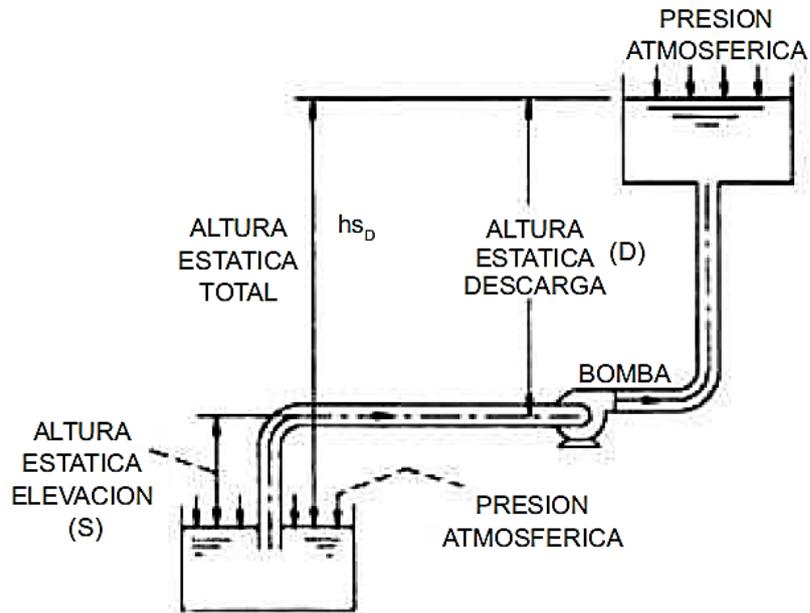


Figura 05.a: Succión de un reservorio abierto a la presión atmosférica. Recipiente localizado por debajo de nivel de eje de la bomba.
Fuente: HIDROSTAL, (2009). Principios hidráulicos de bombas centrifugas

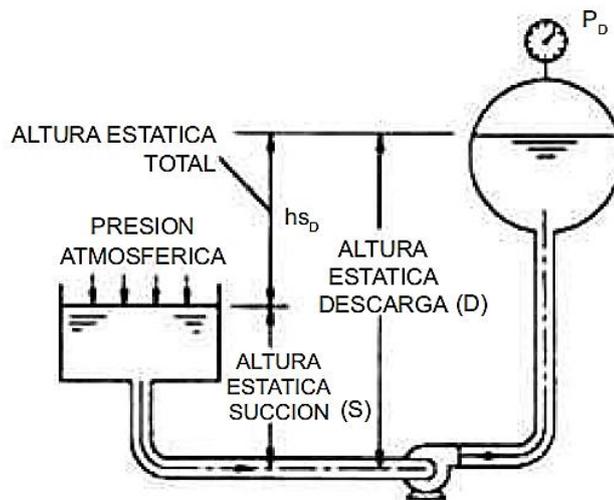


Figura 05.b: Succión de un reservorio abierto a la presión atmosférica. Recipiente localizado a mayor altura que el eje de la bomba.
Fuente: HIDROSTAL, (2009). Principios hidráulicos de bombas centrifugas

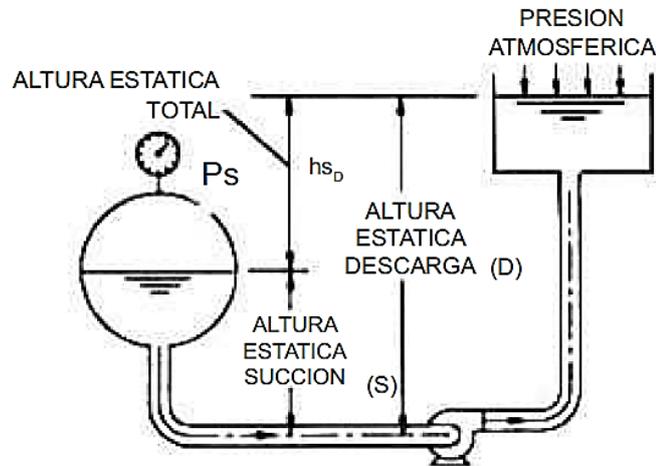


Figura 5.c: Succión de un reservorio cerrado con presión (Ps) diferente a la atmosférica. Recipiente a mayor altura que eje de la bomba.
Fuente: HIDROSTAL, (2009). Principios hidráulicos de bombas centrifugas

G.10. EFICIENCIA DE UNA BOMBA CENTRIFUGA:

Nos indica el porcentaje de energía neta absorbida o aprovechada por el fluido a su paso por la bomba.

$$\text{Eficiencia}(\eta) = \frac{\text{Energía neta absorbida por el fluido}}{\text{Energía entregada al eje de la bomba}} \dots (15)$$

G.11. POTENCIA ABSORVIDA DE LA BOMBA (N):

Se calcula como sigue:

$$N = \frac{GE Q H}{362 \eta} \dots (16)$$

Dónde:

N: Potencia absorbida (Kw)

Q: Caudal bombeado (m³/h)

H: ADT (m)

η: Eficiencia de la bomba (%)

362: Factor de conversión de la fórmula para Kw.



GE: Gravedad específica del fluido bombea

➤ Gravedad específica o Densidad relativa:

Es la relación entre la masa del líquido, a la masa de un mismo volumen de agua destilada a la atm y a 4 °C. La densidad relativa es una magnitud adimensional. La densidad relativa del agua a una temperatura determinada es igual a la densidad absoluta del agua a esa misma temperatura dividida por la densidad del agua a 4 °C

$$GE = \frac{\rho_l}{\rho_{H_2O \text{ a } 4^\circ C}} \dots (17)$$

Dónde:

ρ_l = Densidad del liquido a calcular

$\rho_{H_2O \text{ a } 4^\circ C}$ = densidad del agua a 4 °C

G.12. POTENCIA DE MOTOR ELECTRICO:

Los motores eléctricos que accionan las bombas deben tener, según las normas oficiales vigentes, una potencia normal según las ecuaciones siguientes:

Para motores trifásicos:

$$P_m(\text{MOTOR}) = 1.3 P_b(\text{BOMBA}) \dots (18)$$

Para motores monofásicos:

$$P_m(\text{MOTOR}) = 1.5 P_b(\text{BOMBA}) \dots (19)$$

Teniendo los valores de Voltaje y amperaje:

$$P = \sqrt{3} V I Fp \dots (20)$$

Dónde:



V: voltaje (V)

I: Amperaje (A)

Fp: Factor de potencia

$$P_{mec} = \eta_{real}(P_{elec}) \dots (21)$$

Dónde:

P_{mec} = Potencia mecánica entregada al sistema motriz accionado por el motor.

P_{elec} = potencia eléctrica entregada por el motor.

η_{real} = Eficiencia ajustada por desbalanceo y diferencia de tensión y por rebobinados.

G.13. FACTOR DE CARGA (Fc):

Según FIDE (2002:2) establece, que la carga se define como la salida mecánica de un motor. Esta carga se mide en hp ó watts, la potencia nominal en hp indica la potencia máxima de salida que normalmente debe producirse, el factor de carga es un indicador de la capacidad a la cual está trabajando el motor.

Es importante determinar el factor de carga de los motores para estar seguros que están dimensionados en forma apropiada para sus aplicaciones y para ayudar a identificar problemas potenciales, como los mencionados con anterioridad cuando los motores están sobrecargados.

Cuando un motor trabaja a una carga diferente de la nominal se produce una variación en la eficiencia. De acuerdo a la información de los diferentes fabricantes se sabe que la mayor eficiencia de un motor, se



obtiene en torno al 85% de factor de carga, en el caso de motores de alta eficiencia y al 75% para motores de eficiencia estándar.

La fórmula para determinar el factor de carga en un motor es:

$$F_c = \frac{\text{Potencia en la flecha}}{\text{Potencia Nominal (Placa)}} \dots (22)$$

También expresada de la siguiente manera:

$$F_c = \frac{\text{Potencia eléctrica } (\eta)}{\text{Potencia Nominal}} \dots (23)$$

Dónde :

η : Eficiencia del motor

Para efectos de ajustes y obtener la eficiencia real tenemos que:

$$\eta_{real} = FA_{dv} (\eta + FA_{VV} - FA_{re}) \dots (24)$$

Dónde :

FA_{dv} = Factor de ajuste por desbalanceo en la tensión.

FA_{VV} = Factor de ajuste por diferencia de tensión.

FA_{re} = Factor de ajuste por rebobinados.

G.13.1. FACTOR POR DIFERENCIA DE TENSIÓN (FA_{VV})

La diferencia en la tensión se define como la relación de la tensión trifásica promedio de línea y la tensión indicada en la placa del motor, tal como se muestra en la ecuación

$$VV = \left[\frac{V_{promedio}}{V_{placa}} - 1 \right] \dots (25)$$

Determinando la tensión se puede calcular el factor de ajuste por medio de la siguiente ecuación:

$$FA_{VV} = (VV)[0.07 - 1.344(VV)] - 0.0009 \dots (26)$$



G.13.2. FACTOR POR AJUSTE POR DESBALANCEO EN TENSIÓN (FA_{DV})

El desbalanceo en tensión se define como la máxima desviación de línea, al valor promedio del sistema, entre la tensión promedio como se muestra en la ecuación:

$$DV = \left[\frac{\text{Max} \{ (V_{\text{max}} - V_{\text{promedio}}) \text{ o } (V_{\text{promedio}} - V_{\text{min}}) \}}{V_{\text{promedio}}} \right] \dots (27)$$

Una vez determinado el desbalanceo de en tensión el factor de ajuste por desbalanceo en tensión, se puede calcular con la ecuación siguiente:

$$FA_{dv} = 1 - (DV)[0.0113 + 0.0073(DV)] \dots (28)$$

G.13.3. FACTOR POR AJUSTE POR REBOBINADOS (FA_{RE})

Todo motor que ha sido rebobinado, sufre deterioro en su eficiencia.

Cuando se realiza en talleres sin las características necesarias o no cuenta con la calidad de los materiales, las pérdidas pueden ser de 4.2% o más.

En la tabla 02 se muestra la relación de pérdida unitaria de la eficiencia en función de la temperatura aplicada durante la reparación del motor.

Es importante destacar que la corrección a la eficiencia por rebobinados solo se deberá aplicar en una sola ocasión, independientemente del número de rebobinados.

TABLA 02.

Reducción de la eficiencia por rebobinado.

Temperatura (°C)	Reducción de la eficiencia FA _{re}
633	0.0053
683	0.0117
733 (soplete)	0.0250

Fuente: Procedimiento para la evaluación de motores eléctricos. (FIDE)



G.13.4. NPSH: (Net Positive Suction Head):

Que significa Altura Neta de Succión Positiva, y corresponde a la cantidad de energía que dispone el líquido al ingreso de la bomba centrífuga.

G.13.5. CAVITACION:

Durante la operación de la bomba centrífuga, no debe permitirse que la presión en cualquier punto dentro de la bomba caiga por debajo de la presión de vapor del líquido a la temperatura de bombeo. Debe haber siempre suficiente energía disponible en la succión de la bomba para conseguir que el fluido ingrese al impulsor venciendo las pérdidas entre la brida de succión y la entrada al impulsor.

La cavitación es un fenómeno que ocurre cuando la presión absoluta dentro del impulsor se reduce hasta alcanzar la presión de vapor del líquido bombeado y se forman burbujas de vapor. Estas burbujas colapsan antes de salir del impulsor originando erosión del material con el que está en contacto.

La cavitación se manifiesta como ruido, vibración, reducción del caudal, de la presión de descarga y de la eficiencia. Con el tiempo, todos los elementos de la bomba en contacto con la cavitación presentan una fuerte erosión.

Debemos diferenciar los valores del NPSH que se consideran en el campo de las Bombas Centrífugas: NPSH disponible y NPSH requerido.

NPSH disponible (NPSHD): Es la cantidad de energía disponible (referido al eje de la bomba) sobre la presión de vapor que dispone el líquido en la



brida de succión de la bomba a la temperatura de bombeo. Se expresa en metros de la columna del líquido bombeado.

EL NPSH disponible depende de las características del sistema en el cual opera la bomba, del caudal y de las condiciones del líquido que se bombea, tales como: clase de líquido, temperatura, gravedad específica, entre otras.

El NPSH disponible puede ser calculado por la siguiente ecuación:

$$\text{NPSH}_{\text{Disponible}} = H_{\text{tanque}} + H_{\text{atm}} - H_{\text{vap}} + S - \Sigma P_s \dots (29)$$

Dónde:

NPSH disponible = Carga neta de succión positiva disponible, m.

Htanque = Presión externa en el tanque o pozo de succión, m

Hatm = Presión atmosférica, m

Hvap = Presión de vapor, m

S = Altura estática de succión, m.

ΣP_s = Pérdida de carga por fricción de accesorios y tubería, m.

NPSH requerido (NPSHr): es el valor mínimo de la energía disponible sobre la presión de vapor del líquido a la temperatura de bombeo, requerida en la brida de succión de la bomba, para permitir que opere satisfactoriamente (sin cavitación) a una determinada velocidad de rotación del impulsor. Se expresa en metros de columna del líquido bombeado.

EL NPSH requerido depende exclusivamente del diseño de la bomba y de las condiciones de operación, siendo su valor proporcionado por el fabricante.



Para que no Cavite una bomba centrífuga el NPSH disponible debe superar al NPSH requerido, es decir debe cumplirse la siguiente relación:

$$\text{NPSH}_D \geq \text{NPSH}_r \dots (30)$$

El NPHS disponible en el sistema deberá ser mayor por lo menos en 0.50 m. al NPSH requerido por la bomba.

2.1.7. EVALUACION ECONOMICA

Las inversiones están presente en pequeña o gran medida en las empresas para realizar proyectos ya sea de mejora de algún proceso o nuevo negocio. La evaluación para analizar los proyectos de inversión se basan normalmente en el análisis de los ingresos y gastos relacionados con el proyecto, teniendo en cuenta cuando son efectivamente recibidos y entregados, es decir, en los flujos de caja que se obtienen en dicho proyecto con el fin de determinar si son suficientes para soportar el servicio de la deuda anual (principal más intereses) y de retribuir adecuadamente el capital aportado por los socios. Para evaluar la viabilidad de un proyecto de inversión los indicadores más utilizados por los expertos son: Valor actual neto, tasa interna de retomo, coeficiente beneficio costo y periodo de recuperación.

Estos indicadores de evaluación permiten dar una medida, más o menos ajustada, de la rentabilidad que podemos obtener con el proyecto de inversión, antes de ponerlo en marcha. También permiten compararlo con otros proyectos similares, y, en su caso, realizar los cambios en el proyecto que se consideren oportunos para hacerlo más rentable.



Por tanto este trabajo se basa en la evaluación desde el punto de vista empresarial utilizando los indicadores antes mencionados, para una mejor toma de decisión.

Aunque es oportuno decir que para un mejor análisis se puede hacer también una evaluación social, un análisis de sensibilidad u otros.

A. AHORRO EN POTENCIA DEMANDADA:

Que viene dado por las diferencias de las potencias de las propuestas en el proyecto, vale entender que debe existir una mayor y otra menor.

$$A_D = P_A - P_B \dots (31)$$

Dónde:

A_D = Ahorro en potencia demanda (KW)

P_A = Potencia de mayor demanda (KW)

P_B = Potencia de menor demanda (KW)

B. AHORRO POR ENERGIA ACTIVA:

$$A_{EA} = A_D \times H_{OA} \times C_{EA} \dots (32)$$

Dónde:

A_{EA} = Ahorro por energía Activa (S/. o \$)

A_D = Ahorro en potencia demanda (KW)

H_{OA} = Horas de operación al año (h)

C_{EA} = Cargo por energía activa (ctm. S/./kW.h)

C. AHORRO POR POTENCIA ACTIVA DE GENERACION:

$$A_{PG} = A_D \times T \times C_{PAG} \dots (33)$$

Dónde:

A_{PG} = Ahorro potencia activa de generación (S/. o \$)



A_D = Ahorro en potencia demanda (KW)

T = Tiempo en que se factura (meses)

C_{PAG} = Cargo por potencia activa de generación (S./kW.h-mes)

C. AHORRO POR POTENCIA ACTIVA DE REDES DE DISTRIBUCION:

$$A_{RD} = A_D \times T \times C_{PRD} \dots (34)$$

Dónde:

A_{RD} = Ahorro potencia activa redes de distribución (S/. o \$)

A_D = Ahorro en potencia demanda (KW)

T = Tiempo en que se factura (meses)

C_{PRD} = Cargo por potencia activa de redes de distribución (S./kW.h-mes)

D. AHORRO POR ENERGIA Y POTENCIA:

Que es la suma del ahorro por energía activa, ahorro por potencia activa de generación y el ahorro por potencia activa de redes de distribución.

$$A_{EP} = A_{EA} + A_{PG} + A_{RD} \dots (35)$$

Dónde:

A_{EP} = Ahorro por energía y potencia (S/. o \$)

A_{EA} = Ahorro por energía Activa (S/. o \$)

A_{PG} = Ahorro potencia activa de generación (S/. o \$)

A_{RD} = Ahorro potencia activa redes de distribución (S/. o \$)

E. AHORRO POR LA COMPRA DEL MOTOR ELECTRICO:

Que es la diferencia entre los precios de los motores o equipos propuestos.

$$A_{CM} = P_{MA} - P_{MB} \dots (36)$$

Dónde:



A_{CM} = Ahorro por compra de motores (S/. o \$)

P_{MA} = Precio de motor de mayor costo (S/. o \$)

P_{Mb} = Precio de motor de menor costo (S/. o \$)

F. VALOR ACTUAL NETO (VAN)

Baca (2007:89) considera, que el VAN consiste en actualizar a valor presente los flujos de caja futuros que va a generar el proyecto, descontados a un cierto tipo de interés (la tasa de descuento), y compararlos con el importe inicial de la inversión. Como tasa de descuento se utiliza normalmente el costo de oportunidad del capital (COK) de la empresa que hace la inversión.

Si $VAN > 0$: El proyecto es rentable.

Si $VAN = 0$: El proyecto es postergado.

Si $VAN < 0$: El proyecto no es rentable.

A la hora de elegir entre dos proyectos, elegiremos aquel que tenga el mayor VAN. El valor actual neto corresponde al valor actualizado de todos los flujos netos obtenidos en el futuro por sobre la inversión inicial a lo largo del periodo de evaluación del proyecto.

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{BN_t}{(1+i)^t} \dots (37)$$

Este criterio plantea que el proyecto deberá aceptarse si el VAN es igual o superior a cero.

G. TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)

Baca (2007:92) establece, que la tasa interna de retomo (TIR) evalúa el proyecto en fusión de una única tasa de rendimiento por periodo con la



cual la totalidad de los beneficios actualizados son exactamente iguales a los desembolsos expresados en moneda actual. Este criterio es equivalente a igualar el VAN = 0 y determinar la correspondiente tasa que permite que el flujo actualizado sea cero. La tasa calculada se compara la tasa de descuento del proyecto.

Si la TIR es mayor o igual a la tasa de descuento el proyecto debe aceptarse, de lo contrario no debería llevarse a cabo. Su expresión matemática es la siguiente:

$$0 = -I_0 + \sum_{i=1}^n \frac{BN_t}{(1+i)^n} \dots (38)$$

H. PERIODO DE RETORNO DE LA INVERSION (PAYBACK)

Baca (2007:120) considera, que es un indicador de retomo de la inversión que nos permite conocer el tiempo en el cual se recupera la inversión realizada en función a los ahorros obtenidos. Es un indicador utilizado en los programas de uso eficiente y ahorro de energía para poder medir la rapidez del recupero de lo invertido sin tener en cuentas los parámetros de interés. Se expresa según la siguiente ecuación.

$$PAYBACK = \frac{I_0}{BN} \dots (39)$$



CAPITULO III
MATERIALES Y METODOS



3.1. MATERIALES

3.1.1. EQUIPO PARA PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

El desarrollo de este informe se hizo uso de:

A.1. INSTRUMENTACIÓN

- Pinzas amperimétricas
- Manómetros.
- Registradores de flujo másico de vapor (placa orificio).
- Totalizador de flujo de condensados (fabrica)
- Medidor de velocidad de giro eje de bomba (tacómetro).

A.2. EQUIPO INFORMÁTICO

Se utilizó computadora de mesa con procesador Core i 5 de cuarta generación con tarjeta de video de 1 GB y disco duro de 1 Tb como herramienta de informática para procesar textos, simular cálculos en programa Excel 2003 con macro.

3.2. METODOS

3.2.1. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Se realizará a través de los siguientes métodos y procedimiento de investigación.

3.2.2. MÉTODOS DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación a realizar es de tipo básico y descriptivo, misma que estará fundada en los principios básicos aplicativos de tecnologías con energía hidráulica, mecánica de fluidos. Fórmulas experimentales, y fundamentos de otras investigaciones relacionadas.



3.2.3. PROCEDIMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

Comprende las siguientes etapas, por objetivo específico:

- a. Recopilación de datos.
- b. Cálculo del caudal de condensados de los pre evaporadores.
- c. Cálculo de la potencia de la bomba del sistema de bombeo para cada incremento de molienda.
- d. Dimensionamiento de los componentes del sistema de bombeo.
- e. Discusión y análisis de resultados para comprobar la hipótesis
- f. Elaborar el informe de investigación.

3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA:

Población: bombas de agua del área de elaboración de Agroindustria San Jacinto.

Muestra : 02 bombas del Sistema de bombeo de condensados de los pre evaporadores.



CAPITULO IV

RESULTADOS

4.1. OBTENCIÓN DE DATOS

De acuerdo con lo acordado con la oficina de proyectos, se acordó las siguientes dimensiones de las líneas:

Línea de descarga : 109.7 m

Línea de succión : 5.0 m

Altura de succión : 3.0 m

Altura de descarga : 22.4 m

Presión de tanque de succión : 15 Psig

Presión de tanque de descarga: 20 Psig

Temperatura del condensado : 90 °C

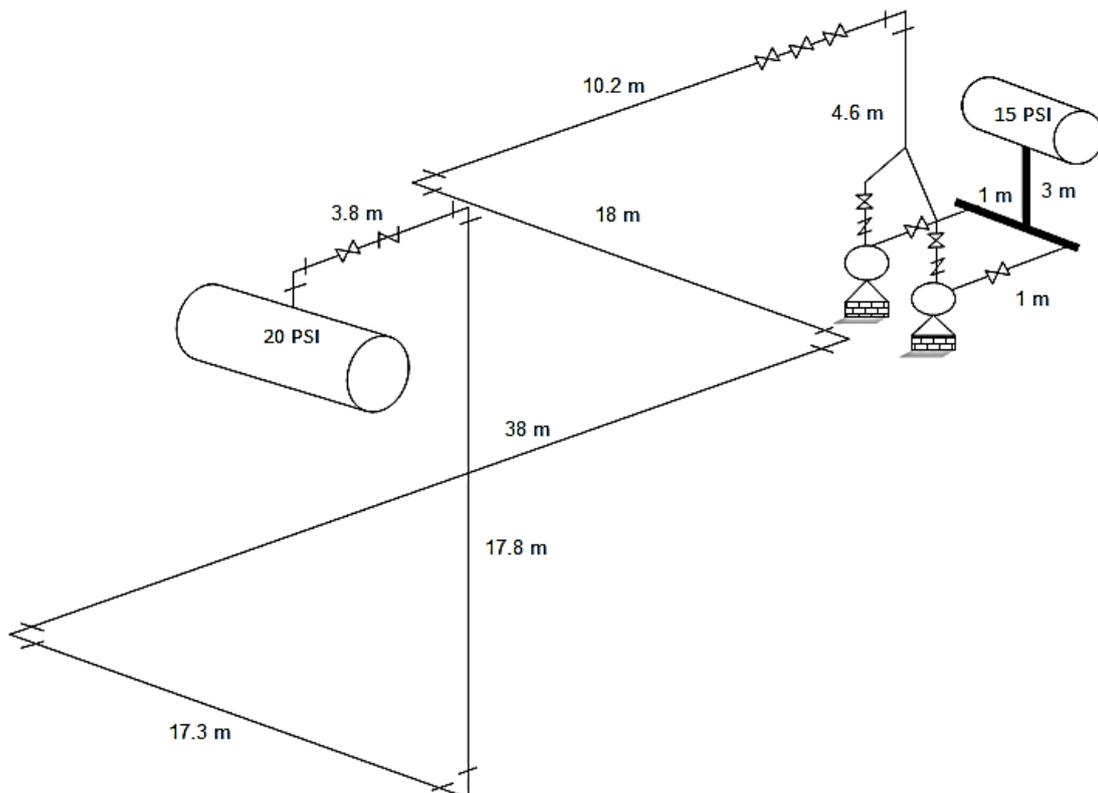


Figura 06. Recorrido de las líneas de succión y descarga.
Fuente: Elaboración Propia.



4.2. CALCULO DE LOS CAUDALES DE CONDENSADO

Mediante un balance de energía se determinaron las siguientes caudales de condensados para la actualidad y para el futuro:

A. PARA 3000 TCD

De los siguientes datos:

$$HM. = 23 \text{ h.}$$

$$TCD = 3000 \text{ TCD}$$

$$\text{Ratio} = 1100 \text{ Lb (vapor)/TCH (Dado por el departamento de ingeniería)}$$

Entonces reemplazando los datos en las ecuaciones 1, 2 y 3:

$$TCH = \frac{3000 \text{ TCD}}{23 \text{ h.}}$$

$$TCH = 130.43 \text{ TCH}$$

$$Q = 130.43 \text{ TCH} \times 1100 \frac{\text{Lb/h}}{\text{TCH}}$$

$$Q = 143,478.26 \frac{\text{lb}}{\text{h}}$$

Dividiendo entre 2205 lb/Ton, para cambiar de unidades:

$$Q = \frac{143,478.26 \frac{\text{Lb}}{\text{h}}}{2205 \frac{\text{Lb}}{\text{Ton}}}$$

$$Q = 65.07 \frac{\text{Ton}}{\text{h}}$$

Donde la densidad del condensado es de 0.965 Ton/m³

$$Q = \frac{65.07 \frac{\text{Ton}}{\text{h}}}{0.965 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^3}}$$

$$Q = 69.26 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$



B. PARA 4000 TCD

De los siguientes datos:

$$HM. = 23 \text{ h.}$$

$$TCD = 4000 \text{ TCD}$$

Ratio = 1000 Lb (vapor)/TCH (Dado por el departamento de ingeniería)

Entonces reemplazando los datos en las ecuaciones 1, 2 y 3:

$$TCH = \frac{4000 \text{ TCD}}{23 \text{ h}}$$

$$TCH = 173.91 \text{ TCH}$$

$$Q = 173.91 \text{ TCH} \times 1000 \frac{\text{Lb/h}}{\text{TCH}}$$

$$Q = 173,913.04 \frac{\text{Lb}}{\text{h}}$$

Dividiendo entre 2205 lb/Ton, para cambiar de unidades:

$$Q = \frac{173,913.04 \frac{\text{Lb}}{\text{h}}}{2205 \frac{\text{Lb}}{\text{Ton}}}$$

$$Q = 78.87 \frac{\text{Ton}}{\text{h}}$$

Donde la densidad del condensado es de 0.965 Ton/m³

$$Q = \frac{78.87 \frac{\text{Ton}}{\text{h}}}{0.965 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^3}}$$

$$Q = 83.95 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$



C. PARA 4500 TCD

De los siguientes datos:

$$HM. = 23 \text{ h.}$$

$$TCD = 4500 \text{ TCD}$$

Ratio = 1000 Lb (vapor)vapor/TCH (Dado por el departamento de ingeniería)

Entonces reemplazando los datos en las ecuaciones 1,2 y 3:

$$TCH = \frac{4500 \text{ TCD}}{23 \text{ h}}$$

$$TCH = 195.65 \text{ TCH}$$

$$Q = 195.65 \text{ TCH} \times 1000 \frac{\text{Lb}/\text{h}}{\text{TCH}}$$

$$Q = 195,652.17 \frac{\text{Lb}}{\text{h}}$$

Dividiendo entre 2205 lb/Ton, para cambiar de unidades:

$$Q = \frac{195,652.17 \frac{\text{Lb}}{\text{h}}}{2205 \frac{\text{Lb}}{\text{Ton}}}$$

$$Q = 88.73 \frac{\text{Ton}}{\text{h}}$$

Donde la densidad del condensado es de 0.965 Ton/m³

$$Q \frac{88.73 \frac{\text{Ton}}{\text{h}}}{0.965 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^3}}$$

$$Q = 94.44 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$



D. PARA 5340 TCD

De los siguientes datos:

$$HM = 23 \text{ Hr.}$$

$$TCD = 5340 \text{ TCD}$$

$$\text{Ratio} = 900 \text{ Lb (vapor)/TCH}$$

Entonces reemplazando los datos en las ecuaciones 1,2 y 3:

$$TCH = \frac{5340 \text{ TCD}}{23 \text{ h}}$$

$$TCH = 232.17 \text{ TCH}$$

$$Q = 232.17 \text{ TCH} \times 900 \frac{\text{Lb/h}}{\text{TCH}}$$

$$Q = 208,956.52 \frac{\text{Lb}}{\text{h}}$$

Dividiendo entre 2205 lb/Ton, para cambiar de unidades:

$$Q = \frac{208,956.52 \frac{\text{Lb/h}}{\text{h}}}{2205 \frac{\text{Lb}}{\text{Ton.}}}$$

$$Q = 94.76 \frac{\text{Ton}}{\text{h}}$$

Donde la densidad del condensado es de 0.965 Ton/m³, (Ver anexo 08)

$$Q = \frac{94.76 \frac{\text{Ton}}{\text{h}}}{0.965 \frac{\text{Ton}}{\text{m}^3}}$$

$$Q = 100.86 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$



TABLA 03.

Caudales de condensados de los pre evaporares para diferentes capacidades de molienda.

CAPACIDAD DE MOLIENDA	CAUDAL DE CONDENSADOS (TON/HR)	CAUDAL DE CONDENSADOS (M3/HR)
3000	65.07	69.26
4000	78.87	83.95
4500	88.73	94.44
5340	94.76	100.86

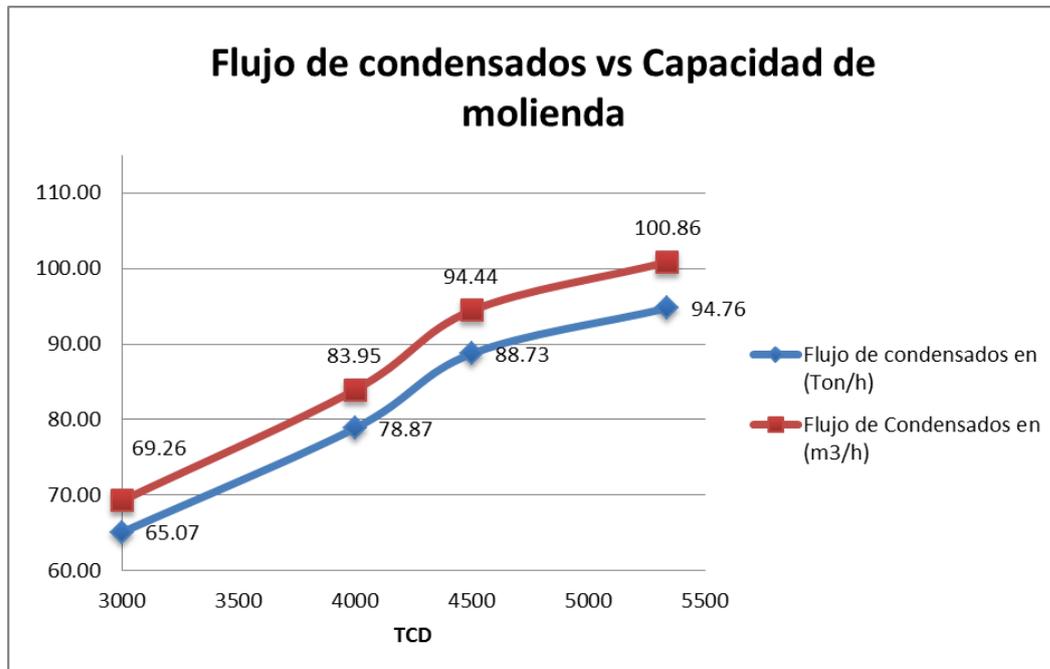


Figura 07. Flujo de condensados para sus respectivas capacidades de molienda.

4.3. CÁLCULO DEL DIAMETRO DE TUBERIA:

A. PARA 3000 TCD – LADO SUCCION Y LADO DESCARGA

Con un caudal $Q = 65.07$ Ton/h.

Para una tubería de 5"

De la ecuación 5:



Dónde:

$D = 5'' = 0.128 \text{ m}$. (Diámetro interno, Schedule 40, ver: anexo 1)

$$A = \frac{\pi(0.128^2)m^2}{4} = 0.013 \text{ m}^2$$

$$Q = 69.26 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \times \frac{\text{hr}}{3600 \text{ s}} = 0.019 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Para este diámetro de tubería, la velocidad del fluido en la tubería, no debería de pasar los 1.38 m/s, (Resultado interpolado ver: anexo 02)

Despejando de las ecuaciones 4:

$$V = \frac{0.019 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0.013 \text{ m}^2} = 1.46 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

No Cumple con el límite de velocidad.

Para una tubería de 6"

De la fórmula 5:

$D = 6'' = 0.154 \text{ m}$. (Diámetro interno, Schedule 40, ver: anexo 1)

$$A = \frac{\pi(0.154)^2}{4} = 0.019 \text{ m}^2$$

$$Q = 0.019 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Despejando de las ecuaciones 4:

$$V = \frac{0.019 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0.019 \text{ m}^2} = 1.00 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Para este diámetro de tubería, la velocidad del fluido en la tubería no debería de pasar los 1.50 m/s, cumple con el límite de velocidad

Entonces, debido a los resultados, la tubería del lado succión y descarga tendrá un diámetro de 6".



Realizando el mismo procedimiento para las diferentes capacidades de molienda, presentamos el siguiente cuadro de resumen:

TABLA 04.

Diámetro de tubería de Succión y Descarga.

Capacidad de Molienda (TCD)	Caudal de Condensados (Ton/h)	Caudal de condensados (m3/h)	Caudal de Condensados (m3/s)	Diámetro Nominal (Pulg)	Diámetro Interior (m)	Area tubo (m2)	Velocidad (m/s)	Velocidad Limite (m/s)	Eleccion	Observacion
3000	65.07	69.26	0.019	5	0.128	0.013	1.46	1.38	-	-
			0.019	6	0.154	0.019	1.00	1.50	SI	Descarga Succion
4000	78.87	83.95	0.023	5	0.128	0.013	1.77	1.38	-	-
			0.023	6	0.154	0.019	1.21	1.50	SI	Descarga Succion
			0.023	8	0.203	0.032	0.72	1.75	-	-
4500	88.73	94.44	0.026	6	0.154	0.019	1.37	1.50	SI	Descarga Succion
			0.026	8	0.203	0.032	0.81	1.75	-	-
5340	94.76	100.86	0.028	6	0.154	0.019	1.47	1.50	SI	Descarga Succion
			0.028	8	0.203	0.032	0.88	1.75	-	-

4.4. CALCULO DE PÉRDIDAS PRIMARIAS

A. PARA 3000 TCD

A.1. LADO SUCCION (h_{FS}):

Datos:

$$Q = 69.26 \text{ m}^3/\text{hr} = 19.24 \text{ l/s}$$

$$D = 6.02'' \text{ (Diámetro interno, Schedule 40, ver: anexo 1)}$$

$$L = 5.0 \text{ m}$$

$$C = 130 \text{ (Ver Anexo 09)}$$

Reemplazando en la ecuación 6:

$$h_{FS} = \frac{1760 \times 5.0 \times \left(\frac{19.26}{130}\right)^{1.43}}{6.02^{4.87}}$$

$$h_{FS} = 0.09 \text{ m.}$$



Nota: para efectos de cálculo se consideró toda la línea de succión de 6", dado que los cálculos para el tramo del cabezal de 18" arrojan un valor casi cero, por lo cual son despreciados.

A.2. LADO DESCARGA (h_{Fd}):

Datos:

$$Q = 69.26 \text{ m}^3/\text{hr} = 19.24 \text{ l/s}$$

$$D = 6.02'' \text{ (Diámetro interno, Schedule 40, ver: anexo 1)}$$

$$C = 130 \text{ (Ver Anexo 09)}$$

$$L = 109.7 \text{ m}$$

Reemplazando en la ecuación 6:

$$h_{Fd} = \frac{1760 \times 109.7 \times \left(\frac{19.24}{130}\right)^{1.43}}{6.02^{4.87}}$$

$$h_{Fd} = 2.04 \text{ m.}$$

Realizando el mismo procedimiento para las diferentes capacidades de molienda, presentamos el siguiente cuadro de resumen:

TABLA 05.

Perdidas primarias por longitud de tubería, lado succión.

Capacidad de Molienda (TCD)	\varnothing''	Longitud (m)	Coef. C	Caudal Cond. (l/s)	PERDIDAS (m)
3000	6.02	5.00	130	19.24	0.09
4000	6.02	5.00	130	23.32	0.12
4500	6.02	5.00	130	26.23	0.14
5340	6.02	5.00	130	28.02	0.16



TABLA 06.

Perdidas primarias por longitud de tubería, lado descarga.

Capacidad de Molienda (TCD)	Ø"	Longitud (m)	Coef. C	Caudal Cond. (l/s)	PERDIDAS (m)
3000	6.02	109.70	130	19.24	2.04
4000	6.02	109.70	130	23.32	2.69
4500	6.02	109.70	130	26.23	3.18
5340	6.02	109.70	130	28.02	3.49

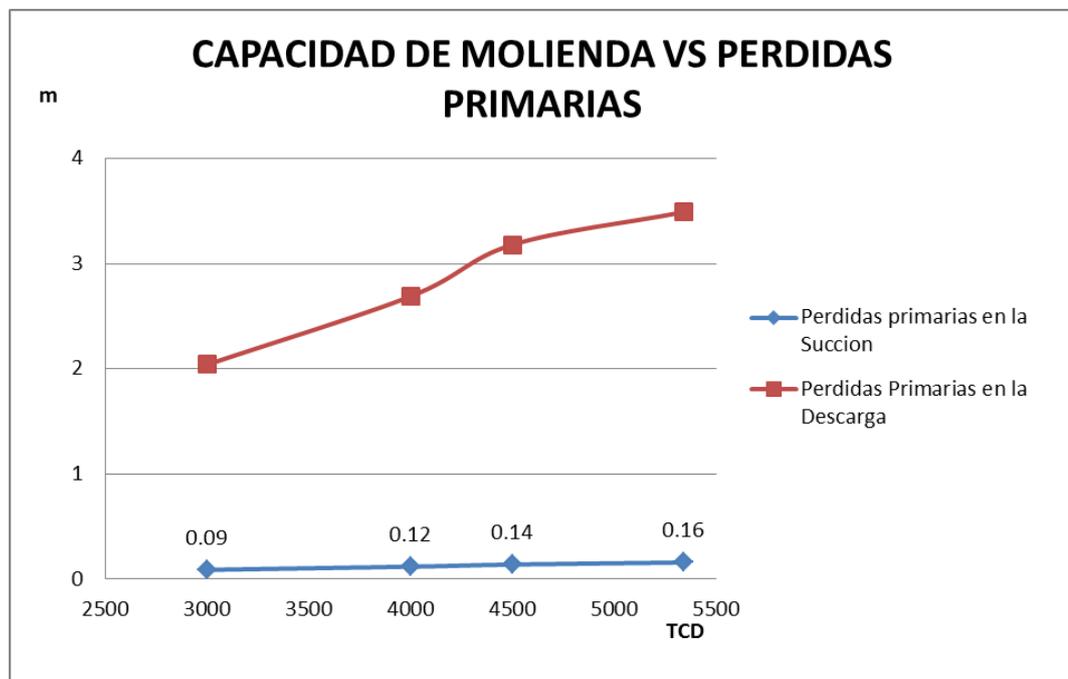


Figura 08: Capacidad de molienda vs perdidas primarias.

4.5. CALCULO DE PÉRDIDAS SECUNDARIAS (Por accesorios en la tubería,

h_f):

A. PARA 3000 TCD

A.1. LADO SUCCION (h_{fs})

1. Entrada de borda de 18"

Con los siguientes datos



Numero de Accesorios = 1

D = 18"

$V = 0.13 \frac{m}{s}$ (Velocidad calculada con el caudal y el diámetro del cabezal de 18")

$K = 0.50$ (Ver Anexo 3)

Reemplazamos en la ecuación 7:

$$h_{fs1} = 1 \times 0.5 \times \frac{0.13^2}{2(9.81)} = 0.0004 \text{ m.}$$

2. Codo 90° de 18"

Con los siguientes datos:

Numero de Accesorios = 2

D = 18"

$V = 0.13 \frac{m}{s}$ (Velocidad calculada con el caudal y el diámetro del cabezal de 18")

$K = 0.28$ (ver Anexo 4)

Reemplazamos en la ecuación 20:

$$h_{fs2} = 2 * 0.28 \times \frac{0.13^2}{2(9.81)} = 0.001 \text{ m.}$$

3. Entrada de borda de 6"

Con los siguientes datos:

Numero de Accesorios = 1

D = 6"

$V = 1.00 \frac{m}{s}$

$K = 0.50$ (Ver Anexo 3)



Reemplazamos en la ecuación 7:

$$h_{fs3} = 1 \times 0.5 \times \frac{1.00^2}{2(9.81)} = 0.025 \text{ m.}$$

4. Válvula compuerta de 6"

Con los siguientes datos:

Numero de Accesorios = 1

D = 6"

$$V = 1.00 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

K = 0.13 (ver Anexo 4)

Reemplazamos en la ecuación 7:

$$h_{fs4} = 1 \times 0.13 \times \frac{1.00^2}{2(9.81)} = 0.007 \text{ m.}$$

Donde :

$$h_{fs} = h_{fs1} + h_{fs2} + h_{fs3} + h_{fs4}$$

$$h_{fs} = 0.0004 \text{ m} + 0.001 \text{ m} + 0.025 \text{ m} + 0.007 \text{ m}$$

$$h_{fs} = 0.03 \text{ m}$$

A.2. LADO DESCARGA (h_{fd})

1. Codo de 45° de 6"

Con los siguientes datos:

Numero de Accesorios = 1

D = 6"

$$V = 1.00 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

K = 0.18 (ver Anexo 4)

Reemplazamos en la ecuación 7:



$$h_{fd1} = 1 \times 0.18 \times \frac{1.00^2}{2(9.81)} = 0.009 \text{ m.}$$

2. Codo de 90° de 6"

Con los siguientes datos:

Numero de Accesorios = 6

D = 6"

$$V = 1.00 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

K = 0.28 (ver Anexo 4)

Reemplazamos en la ecuación 7:

$$h_{fd2} = 6 \times 0.29 \times \frac{1.00^2}{2(9.81)} = 0.086 \text{ m.}$$

3. Bifurcación de 6"

Con los siguientes datos:

Numero de Accesorios = 1

D = 6"

$$V = 1.00 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

K = 0.3 (Ver Anexo 5)

Reemplazamos en la ecuación 7:

$$h_{fd3} = 1 \times 0.3 \times \frac{1.00^2}{2(9.81)} = 0.015 \text{ m.}$$

4. Válvula de retención vertical (Check) de 6"

Con los siguientes datos:

Numero de Accesorios = 2

D = 6"



$$V = 1.00 \frac{m}{s}$$

$$K = 2 \text{ (Ver Anexo 4)}$$

Reemplazamos en la ecuación 7:

$$h_{fd4} = 2 \times 2 \times \frac{1.00^2}{2(9.81)} = 0.204 \text{ m.}$$

5. Válvula Compuerta de 6"

Con los siguientes datos:

$$\text{Numero de Accesorios} = 2$$

$$D = 6''$$

$$V = 1.00 \frac{m}{s}$$

$$K = 0.13 \text{ (Ver Anexo 4)}$$

Reemplazamos en la ecuación 7:

$$h_{fd5} = 2 \times 0.13 \times \frac{1.00^2}{2(9.81)} = 0.013 \text{ m.}$$

6. Ampliación de 6" a 8"

Con los siguientes datos:

$$\text{Numero de Accesorios} = 1$$

$$V = 1.00 \frac{m}{s}$$

$$K = 0.1 \text{ (Ver Anexo 6)}$$

$$h_{fd6} = 0.37 \times \frac{1.00^2}{2(9.81)} = 0.005 \text{ m.}$$

Reemplazamos en la siguiente ecuación:

$$h_{fd} = h_{fd1} + h_{fd2} + h_{fd3} + h_{fd4} + h_{fd5} + h_{fd6}$$



$$h_{fd} = 0.009 m + 0.086 m + 0.015 m + 0.204 m + 0.013 m + 0.005 m$$

$$h_{fd} = 0.33 m$$

Realizando el mismo procedimiento para las diferentes capacidades de molienda, presentamos el siguiente cuadro de resumen:

TABLA 07.

Perdidas secundarias en el lado succión a diferentes capacidades de molienda.

Capacidad de Molienda (TCD)	Caudal de Condensados(Ton/hr)	Ø"	Velocidad (m/s)	PERDIDAS (m)
3000	69.26	6	1.00	0.03
4000	83.95	6	1.21	0.05
4500	94.44	6	1.37	0.06
5340	100.86	6	0.88	0.07

TABLA 08.

Perdidas secundarias en el lado descarga diferentes capacidades de molienda.

Capacidad de Molienda (TCD)	Caudal de Condensados(Ton/hr)	Ø"	Velocidad (m/s)	PERDIDAS (m)
3000	69.26	6	1.00	0.33
4000	83.95	6	1.21	0.48
4500	94.44	6	1.37	0.62
5340	100.86	6	0.88	0.72

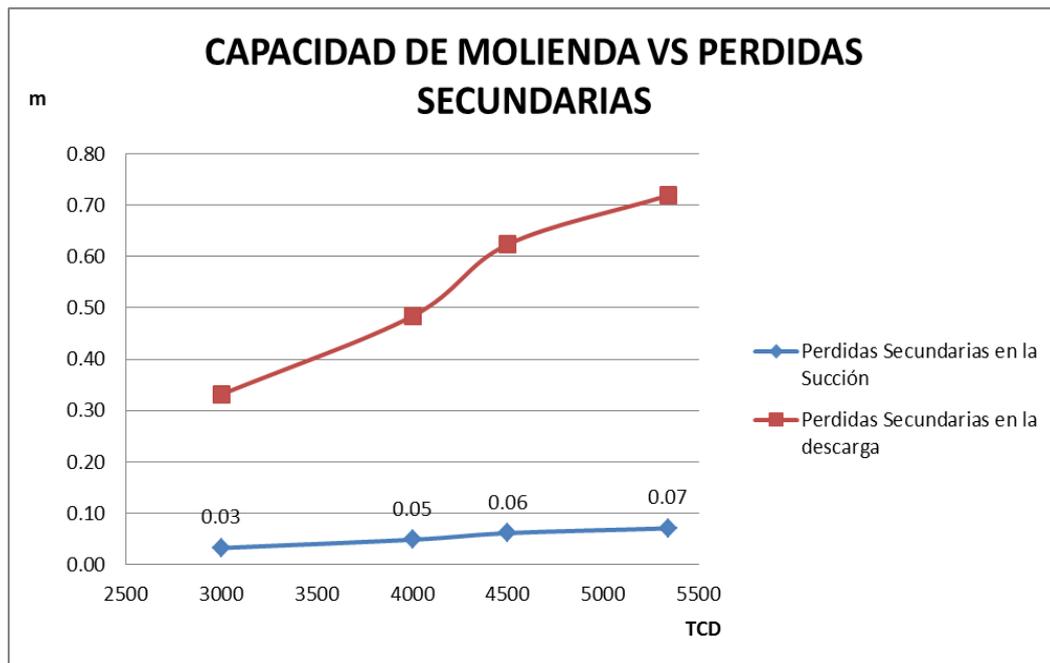


Figura 09: Capacidad de molienda vs perdidas secundarias en el lado succión y descarga.

4.6. CALCULO DE LA ALTURA DINAMICA TOTAL(H)

A. PARA 3000 TCD

De los datos:

$$S = 3.0 \text{ m.}$$

$$D = 22.4 \text{ m.}$$

$$P_d = 20 \text{ Psi (g).}$$

$$P_s = 15 \text{ Psi (g).}$$

$$h_{fS} = 0.03 \text{ m.}$$

$$h_{FS} = 0.09 \text{ m.}$$

$$h_{fd} = 0.33 \text{ m.}$$

$$h_{Fd} = 2.04 \text{ m.}$$



- Transformando las presiones de los tanques del lado de la succión y de la descarga, sabiendo que cada 1 Psi = 0.702778 m.

$$P_d = 20 \text{ Psi (g)}.$$

$$P_d = 20 \text{ Psi} \times 0.702778 \frac{\text{m}}{\text{Psi}}$$

$$P_d = 14.06 \text{ m}.$$

$$P_s = 15 \text{ Psi (g)}.$$

$$P_s = 15 \text{ Psi (g)} \times 0.702778 \frac{\text{m}}{\text{Psi}}$$

$$P_s = 10.54 \text{ m}.$$

- Entonces reemplazando en las ecuaciones 13 y 14, hallamos la sumatoria de pérdidas en el lado de la succión y la descarga:

$$\Sigma P_s = 0.09 \text{ m} + 0.03 \text{ m} = 0.12 \text{ m}.$$

$$\Sigma P_d = 2.04 \text{ m} + 0.33 \text{ m} = 2.37 \text{ m}.$$

- Seguidamente reemplazando en las ecuaciones 11 y 12, hallamos la altura de succión y descarga:

$$h_s = 3 \text{ m} + 0.12 \text{ m} + 10.54 \text{ m}.$$

$$h_s = 13.66 \text{ m}.$$

$$h_d = 22.4 \text{ m} + 2.37 \text{ m} + 14.06 \text{ m}.$$

$$h_d = 38.83 \text{ m}.$$

- Luego reemplazando en la ecuación 10, se halla la Altura Dinámica

Total:

$$H = 38.83 \text{ m} - 13.66 \text{ m}.$$

$$\mathbf{H = 25.17 \text{ m}.$$



Realizando el mismo procedimiento para las diferentes capacidades de molienda, presentamos el siguiente cuadro de resumen:

TABLA 09.

Altura dinámica total a diferentes capacidades de molienda.

CAPACIDAD DE MOLIENDA (TCD)	hFs (m)	hfs (m)	ΣPs (m)	S (m)	Ps (m)	hs (m)	hFd (m)	hfd (m)	ΣPd (m)	D (m)	Pd (m)	hd (m)	H (m)
3000	0.09	0.03	0.12	3	10.54	13.66	2.04	0.33	2.37	22.4	14.06	38.83	25.17
4000	0.12	0.05	0.17	3	10.54	13.71	2.69	0.48	3.17	22.4	14.06	39.63	25.93
4500	0.14	0.06	0.20	3	10.54	13.74	3.18	0.62	3.80	22.4	14.06	40.26	26.52
5340	0.16	0.07	0.23	3	10.54	13.77	3.49	0.72	4.21	22.4	14.06	40.67	26.90

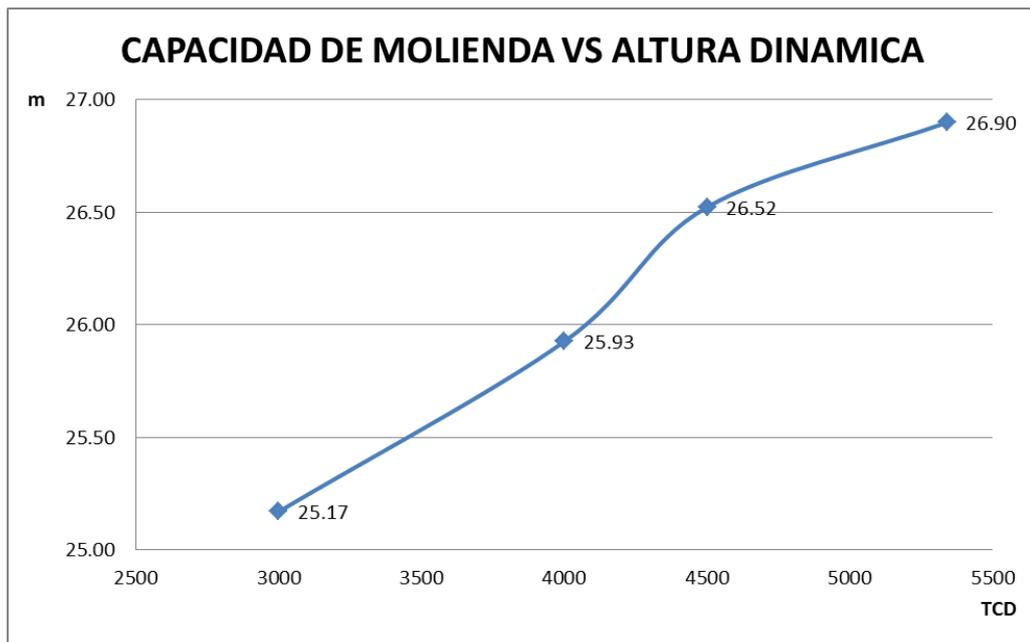


Figura 10: Altura dinámica total a diferentes capacidades de molienda.

4.7. CALCULO DE LA POTENCIA DE BOMBA(N)

Hallaremos la Gravedad Específica (GE):

De los datos:

$$\rho_{H2O \text{ a } 90^{\circ}\text{C}} = 965.34 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{H2O \text{ a } 4^{\circ}\text{C}} = 1000 \text{ kg/m}^3$$



Reemplazando los siguientes datos en la ecuación 17:

$$GE = \frac{965.34 \text{ kg/m}^3}{1000 \text{ kg/m}^3}$$

$$GE = 0.965$$

A. PARA 3000 TCD

Reemplazando en la ecuación 16 los siguientes datos:

$$Q = 69.26 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$H = 25.17 \text{ m}$$

$$GE = 0.965$$

$$\eta = 70\%$$

Tenemos:

$$N = \frac{69.26 \times 25.17 \times 0.965}{362 \times 0.70}$$

$$N = 6.64 \text{ Kw} \approx 8.9 \text{ HP}$$

Realizando el mismo procedimiento para las diferentes capacidades de molienda, presentamos el siguiente cuadro de resumen:

TABLA 10.

Potencia de bomba a diferentes capacidades de molienda.

RITMO DE MOLIENDA (TCD)	CAUDAL (Q) m ³ /h	ALTURA DINAMICA TOTAL (H) m	GRAVEDAD ESPECIFICA (GE)	EFICIENCIA DE BOMBA (η) %	POTENCIA DE BOMBA (Kw)	POTENCIA DE BOMBA (Hp)
3000	69.26	25.17	0.965	70%	6.64	8.90
4000	83.95	25.93	0.965	70%	8.29	11.11
4500	94.44	26.52	0.965	70%	9.54	12.79
5340	100.86	26.90	0.965	70%	10.34	13.85



4.8. CALCULO DE LA POTENCIA DE MOTOR(Pm):

A. PARA 3000 TCD

De los datos:

$$P_b = 6.64 \text{ Kw}$$

Reemplazando en la ecuación 18:

$$P_m = 1.3 \times 6.64 \text{ Kw}$$

$$P_m = 8.63 \text{ Kw} \approx 11.57 \text{ HP}$$

Realizando el mismo procedimiento para las diferentes capacidades de molienda, presentamos el siguiente cuadro de resumen:

TABLA 11.

Potencia de bomba a diferentes capacidades de molienda.

RITMO DE MOLIENDA (TCD)	POTENCIA DE BOMBA (Kw)	POTENCIA DE MOTOR (Kw)	POTENCIA DE MOTOR Pm (Hp)
3000	6.64	8.63	11.57
4000	8.29	10.78	14.45
4500	9.54	12.40	16.63
5340	10.34	13.44	18.01

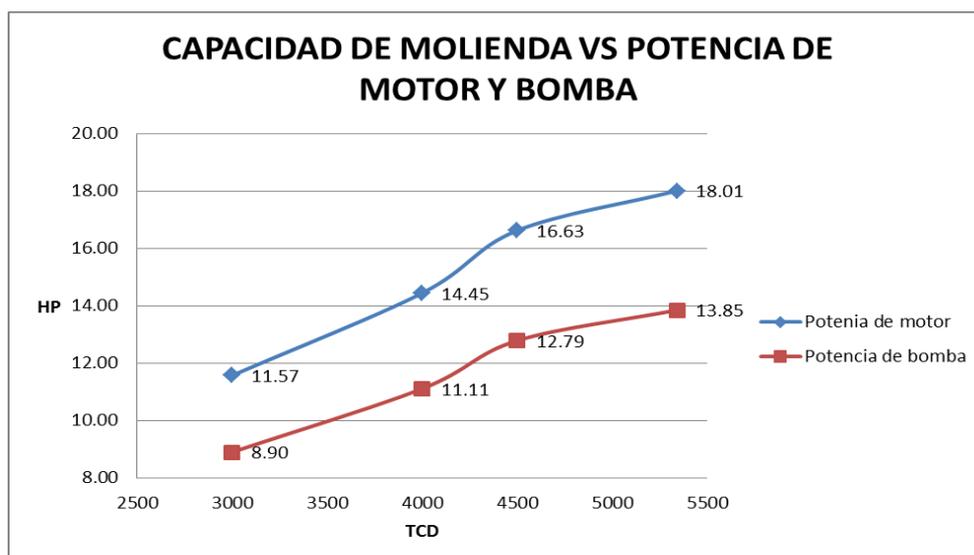


Figura 11: Potencia de motor y bomba a diferentes capacidades de molienda.



4.9. CALCULO DE LA CARGA NETA DE SUCCION POSITIVA

DISPONIBLE(NPSH)

A. PARA 3000 TCD

De los datos:

$$H_{tanque} = 10.54 \text{ m}$$

$$H_{atm} = 9.93 \text{ m}$$

$$H_{vap} = 10.33 \text{ m (Ver Anexo 8)}$$

$$H_S = 3.0 \text{ m}$$

$$\Sigma P_S = 0.12 \text{ m}$$

Reemplazando en la ecuación 29:

$$NPSH_{Disponible} = 10.54 \text{ m} + 9.93 \text{ m} - 7.15 \text{ m} + 3.0 \text{ m} - 0.12 \text{ m}$$

$$NPSH_{Disponible} = 16.19 \text{ m.}$$

Realizando el mismo procedimiento para las diferentes capacidades de molienda, presentamos el siguiente cuadro de resumen:

TABLA 12.

NPSH de bombas para diferentes Capacidad de molienda.

RITMO DE MOLIENDA (TCD)	PRESION EN EL TANQUE (P)	PRESION ATMOSFERICA (Pa)	PRESION DE VAPOR (Pv)	ALTURA DE SUCCION (S)	SUMATORIA DE PERDIDAS EN LA SUCCION (ΣPS)	NPSH
3000	10.54	9.93	7.15	3.00	0.13	16.19
4000	10.54	9.93	7.15	3.00	0.17	16.15
4500	10.54	9.93	7.15	3.00	0.20	16.12
5340	10.54	9.93	7.15	3.00	0.23	16.09

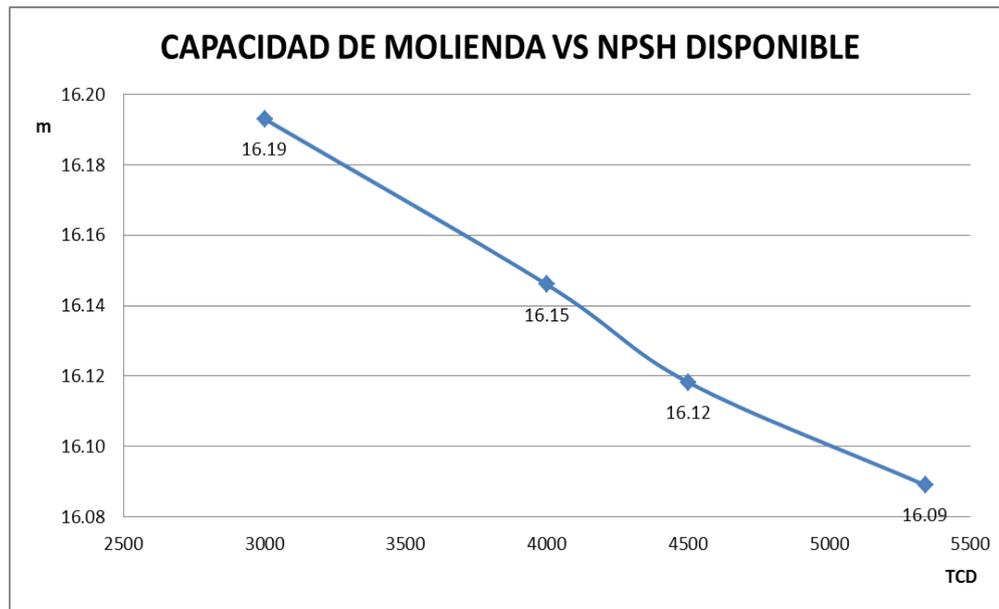


Figura 12. NPSH a diferentes Capacidades de molienda.

Tomando en cuenta el cálculo, se puede escoger una bomba con un NPSHr mayor en hasta un 0.5m al NPSHd, de manera que con un NPSHr = 15.69 m. poniéndonos en el escenario mas critico que es para el de 5340 TCD, podremos utilizar la misma bomba con ese NPSHr para todos los escenarios donde se va aumentar la capacidad de molienda.

4.10. CALCULO DE LA POTENCIA NOMINAL DEL MOTOR

A. PARA 3000 TCD

Considerando los datos siguientes obtenidos por medición de los parámetros del motor actual:



TABLA 13.

Datos de motor tomados en campo.

MEDICIONES		UNIDADES
V1	460.4	Volts
V2	459.8	Volts
V3	462.9	Volts
I	11.3	Amp
Fp	0.96	1
DATOS DE PLACA		
VP	460	Volts
HP	20	HP
η_p	0.888	1

- a. Hallamos la potencia eléctrica demandada a partir de las mediciones:

Reemplazando en la ecuación 25:

$$P_M = \frac{\sqrt{3} \left(\frac{460.4+459.8+462.9}{3} \right) (11.3)(0.96)}{1000}$$

$$P_M = 8.652 \text{ Kw} \cong 11.598 \text{ HP}$$

Potencia similar a la calculada en la tabla 11.

- b. Hallamos el factor de carga y la eficiencia del motor actual:

Reemplazando en la ecuación 23, si no se dispone de la eficiencia, se tomara la eficiencia dada en el anexo 9 considerando una carga de 100%

$$FC = \frac{(11.598)(0.888)}{20}$$

$$FC = 0.515$$

- c. Para este factor de carga de 0.515, interpolando en el anexo 10 se tiene una eficiencia actual de $\eta_a = 0.888$. pero es necesario ajustar la eficiencia actual:



- Por diferencia de tensión:

Reemplazando en las ecuaciones 25 y 26:

$$VV = \left[\frac{461.033}{460} - 1 \right]$$

$$VV = 0.002$$

$$FA_{VV} = (0.002)[0.07 - 1.334(0.002) - 0.0009]$$

$$FC = -0.0007$$

- Por desbalanceo de en tensión:

Reemplazando en las ecuaciones 27 y 28:

$$DV = \left[\frac{\text{Max}\{(462.9 - 461.033) \text{ ó } (461.033 - 459.8)\}}{461.033} \right]$$

$$DV = 0.004$$

$$FA_{DV} = 1 - (0.004)[0.0113 + 0.0073(0.004)]$$

$$FA_{DV} = 0.99995$$

- Por rebobinados:

Según la tabla 02, se escogerá un $FA_{re} = 0.025$

Por lo tanto, reemplazando en la ecuación 24 la eficiencia queda de la siguiente manera:

$$\eta_a = 0.99995(0.891 - 0.0007 - 0.025)$$

$$\eta_a = 0.862$$

- d. Hallamos la potencia de freno:

Reemplazando en la ecuación 21:

$$P_{mec} = 0.862(8.652)$$

$$P_{mec} = 7.461 \text{ Kw} \cong 10.02 \text{ HP}$$

- e. Propuesta de nuevo motor (Alta eficiencia)



Reemplazando en la ecuación 22:

$$P_{AE} = \frac{7.461}{0.75}$$

$$P_{AE} = 9.949KW \cong 13.336 HP$$

Escogiendo un motor de 15 Hp

$$P_{AE} = 15 HP$$

Nota:

a. Teniendo como premisa que los motores tendrán la misma deficiencia de trabajar sobredimensionado, podemos considerar que para un escenario de 4000 TCD, el motor tendrá una potencia de placa de 25 HP, para un escenario de 4500 TCD, el motor tendrá una potencia de placa de 28 HP, para un escenario de 5340 TCD, el motor tendrá una potencia de placa de 30 HP.

b. También podemos deducir que para los diferentes escenarios de capacidad de molienda, se trabajara con un factor de carga de:

$$FC = 0.515$$

c. Y que los mediciones de los parámetros eléctricos de las bombas sobredimensionadas en los diferentes escenarios, serán semejantes a los medidos en la actualidad.

4.11. CALCULO DEL FACTOR DE CARGA (FC)

A. PARA 3000 TCD

a. Nuevo factor de carga:

De la misma ecuación 22:

$$FC_{AE} = \frac{10.002 HP}{15 HP}$$



$$FC_{AE} = 0.667$$

b. Para este factor de carga de 0.667, se tiene una eficiencia actual de $\eta_a = 0.9263$. pero es necesario ajustar la eficiencia actual, utilizando el mismo método anterior, considerando las mismas condiciones de diferencia de tensión y desbalanceo, solo se ajustara el valor de $FA_{re} = 0$, por ser motor nuevo.

Reemplazando en la ecuación 24:

$$\eta_{AE} = 0.92548$$

c. Hallamos la potencia eléctrica del motor de alta eficiencia:

Despejando y reemplazando en la ecuación 23:

$$P_{AE} = \frac{15.00(0.667)}{0.92548}$$

$$P_{AE} = 8.052 \text{ Kw} \cong 10.807 \text{ HP}$$

Realizando el mismo procedimiento para las diferentes capacidades de molienda, presentamos el siguiente cuadro de resumen:

TABLA 14.

Factor de carga y potencias para cada capacidad de molienda.

CAPACIDAD DE MOLIENDA (TCD)	FACTOR DE CARGA (Fc)	POTENCIA DE MOTOR STD(HP)	POTENCIA DE PLACA MOTOR (HP)	FACTOR DE CARGA (FCAE)	POTENCIA DE MOTOR AE(HP)	POTENCIA DE PLACA MOTOR (HP)
3000.00	0.515	11.57	20.00	0.67	10.81	15.00
4000.00	0.515	14.45	25.00	0.64	13.75	20.00
4500.00	0.515	16.63	28.00	0.74	15.85	20.00
5340.00	0.515	18.01	30.00	0.80	17.22	20.00

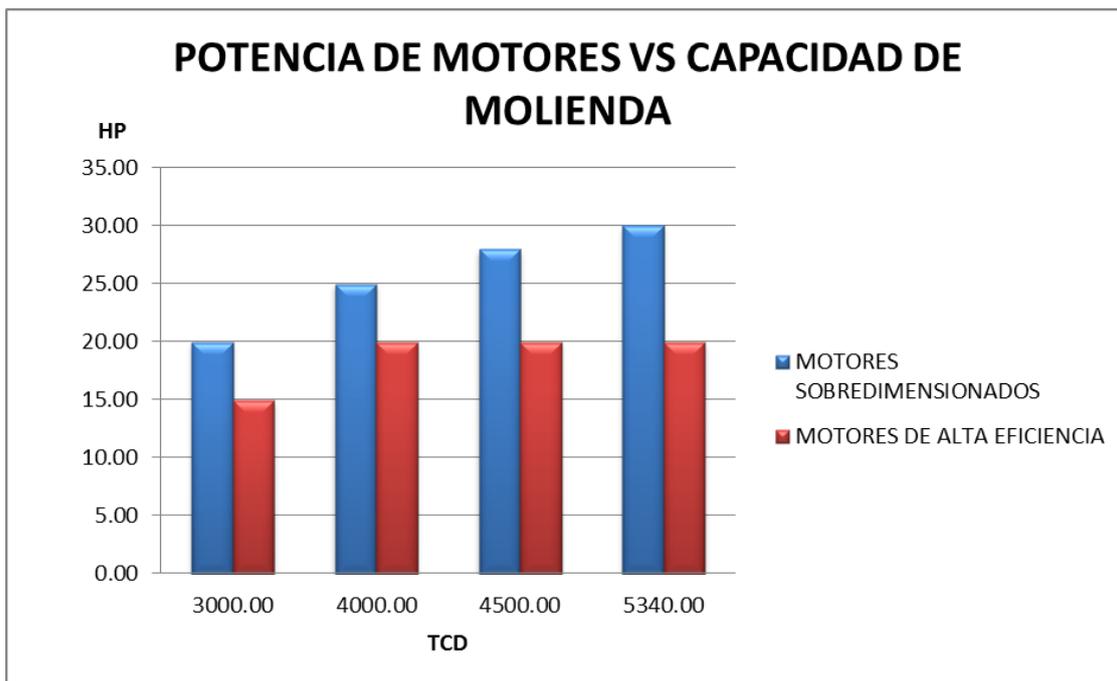


Figura 13: Potencia de motores vs Capacidad de molienda.

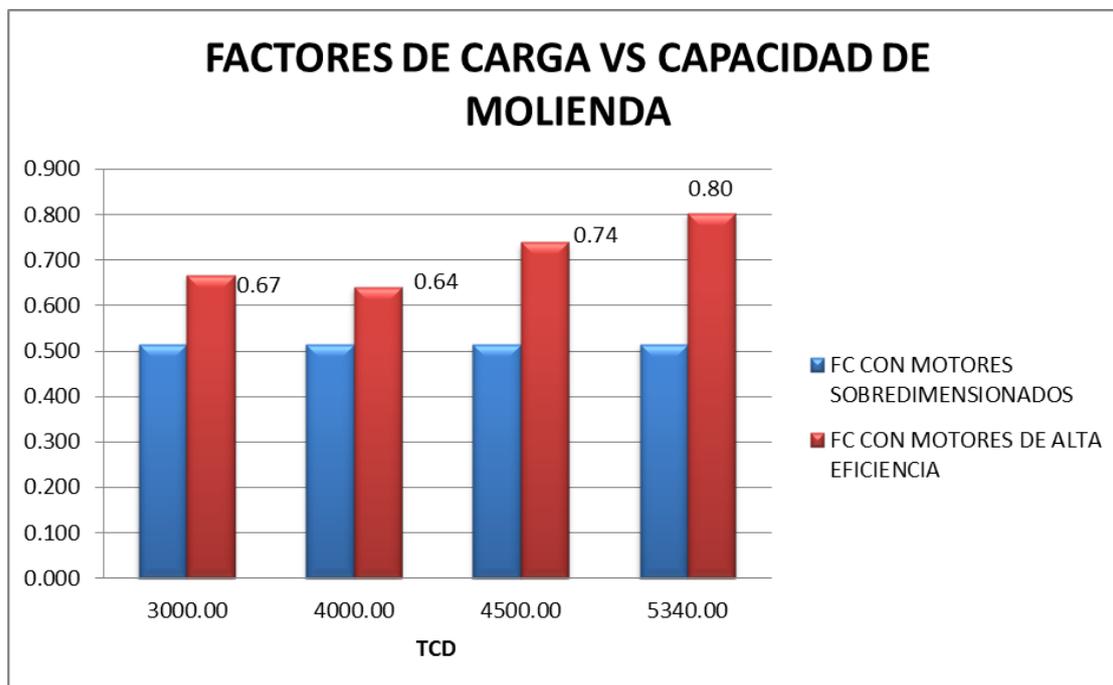


Figura 14: Factores de carga vs Capacidad de molienda.



4.12. EVALUACION ECONOMICA

El equipo crítico en este proyecto es la electrobomba, el cual es un activo fijo, que aumentara su costo a la medida que incremente su potencia. Se procederá a calcular el ahorro que se tiene al reemplazar electrobombas con motores de alta eficiencia en lugar de motores sobredimensionados, luego de ello se procederá a la evaluación en función del VAN (Valor actual neto) y TIR (Tasa de interés de retorno).

A. AHORROS Y COSTOS

A.1. PARA 3000TCD

De los datos:

$$POT_{STDELEC.} = 8.652KW$$

$$POT_{AELEC.} = 8.062 KW$$

$$C_{EA} \text{ (Tarifa MT4)} = 18.43 \text{ ctm. S/./kW.h}$$

$$C_{PAG} \text{ (Tarifa MT4)} = 51.53 \text{ S/./kW.h - mes.}$$

$$C_{PRD} \text{ (Tarifa MT4)} = 13.25 \text{ S/./kW.h - mes.}$$

$$H_{OA} = 7200 \text{ Hr.}$$

$$\text{Meses} = 12$$

$$\text{Años de operación} = 3 \text{ años}$$

$$\text{Tipo de cambio} = 3.28 \text{ soles.}$$

1. AHORRO EN POTENCIA DEMANDADA:

Reemplazando los datos en la ecuación 31:

$$A_D = 8.652KW - 8.062KW.$$

$$A_D = 0.59 KW.$$



2. AHORRO POR ENERGIA ACTIVA:

Reemplazando los datos en la ecuación 32:

$$A_{EA} = 0.590KW \times 7200 \text{ h} \times 18.43 \text{ ctm. S./kW.h.}$$

$$A_{EA} = S/.764.56 \cong \$233.10 \text{ Año}$$

3. AHORRO POR POTENCIA ACTIVA DE GENERACION:

Reemplazando los datos en la ecuación 33:

$$A_{PG} = 0.590KW \times 12 \text{ meses} \times 51.53 \text{ S./kW.h - mes}$$

$$A_{PG} = S/.364.80 \cong \$111.22 \text{ año.}$$

4. AHORRO POR POTENCIA ACTIVA DE REDES DE DISTRIBUCION:

Reemplazando los datos en la ecuación 34:

$$A_{RD} = 0.590KW \times 12 \text{ meses} \times 13.25 \text{ S./kW - mes}$$

$$A_{RD} = S/.93.80 \cong \$28.60 \text{ año.}$$

5. AHORRO POR ENERGIA Y POTENCIA:

Reemplazando los datos en la ecuación 35:

$$A_{EP} = \$233.10 + \$111.22 + \$28.60$$

$$A_{EP} = \$372.92 \text{ año.}$$

6. AHORRO POR LA COMPRA DEL MOTOR ELECTRICO:

Reemplazando los datos en la ecuación 36:

- Precio de 2 motores de 20 hp = \$ 7,789.92

(Precio incluye instalación y mtto. Por 3 años)

- Precio de 2 motores 15 hp = \$ 6,991.70

(Precio incluye instalación y mtto. Por 3 años)

$$A_{CM} = \$7,789.92 - \$6,991.70$$

$$A_{CM} = \$798.22$$



A.2. PARA 4000 TCD

De los datos:

$$POT_{STD\ ELEC.} = 10.78\ KW$$

$$POT_{AELEC.} = 10.260\ KW$$

$$C_{EA}\ (\text{Tarifa MT4}) = 18.43\ \text{ctm. S./kW.h}$$

$$C_{PAG}\ (\text{Tarifa MT4}) = 51.53\ \text{S./kW.h} - \text{mes.}$$

$$C_{PRD}\ (\text{Tarifa MT4}) = 13.25\ \text{S./kW.h} - \text{mes.}$$

$$H_{OA} = 7200\ Hr.$$

$$\text{Meses} = 12$$

Años de operación = 3 años

Tipo de cambio = 3.28 soles.

1. AHORRO EN POTENCIA DEMANDADA:

Reemplazando los datos en la ecuación 31:

$$A_D = 10.78\ KW - 10.26\ KW.$$

$$A_D = 0.52\ KW.$$

2. AHORRO POR ENERGIA ACTIVA:

Reemplazando los datos en la ecuación 32:

$$A_{EA} = 0.520\ KW \times 7200\ h \times 18.43\ \text{ctm. S./kW.h}.$$

$$A_{EA} = S/.674.67 \cong \$205.5\ \text{Año}$$

3. AHORRO POR POTENCIA ACTIVA DE GENERACION:

Reemplazando los datos en la ecuación 33:

$$A_{PG} = 0.520\ KW \times 12\ \text{meses} \times 51.53\ \text{S./kW.h} - \text{mes}$$

$$A_{PG} = S/.321.60 \cong \$98.05\ \text{año.}$$



4. AHORRO POR POTENCIA ACTIVA DE REDES DE DISTRIBUCION:

Reemplazando los datos en la ecuación 34:

$$A_{RD} = 0.520KW \times 12 \text{ meses} \times 13.25 \text{ S./kW} - \text{mes}$$

$$A_{RD} = \text{S/} .82.69 \cong \$ 25.21 \text{ año.}$$

5. AHORRO POR ENERGIA Y POTENCIA:

Reemplazando los datos en la ecuación 35:

$$A_{EP} = \$205.5 + \$98.05 + \$25.21.$$

$$A_{EP} = \$328.76$$

6. AHORRO POR LA COMPRA DEL MOTOR ELECTRICO:

Reemplazando los datos en la ecuación 36:

- Precio de 2 motores de 25 hp = \$ 9,609.30

(Precio incluye instalación y mtto. Por 3 años)

- Precio de 2 motores de 20 hp = \$ 7,789.92

(Precio incluye instalación y mtto. Por 3 años)

$$A_{CM} = \$ 9,609.30 - \$ 7,789.92$$

$$A_{CM} = \$ 1,819.38$$

A.3. PARA 4500 TCD

De los datos:

$$POT_{STD \ ELEC.} = 12.406 \text{ KW}$$

$$POT_{AELEC.} = 11.824 \text{ KW}$$

$$C_{EA} \text{ (Tarifa MT4)} = 18.43 \text{ ctm. S./kW.h}$$

$$C_{PAG} \text{ (Tarifa MT4)} = 51.53 \text{ S./kW.h} - \text{mes.}$$

$$C_{PRD} \text{ (Tarifa MT4)} = 13.25 \text{ S./kW.h} - \text{mes.}$$

$$H_{OA} = 7200 \text{ Hr.}$$



Meses = 12

Años de operación = 4 años

Tipo de cambio = 3.28 soles.

1. AHORRO EN POTENCIA DEMANDADA:

Reemplazando los datos en la ecuación 31:

$$A_D = 12.406 \text{ KW} - 11.824 \text{ KW.}$$

$$A_D = 0.582 \text{ KW.}$$

2. AHORRO POR ENERGIA ACTIVA:

Reemplazando los datos en la ecuación 32:

$$A_{EA} = 0.582 \text{ KW} \times 7200 \text{ h} \times 18.43 \text{ ctm. S./kW.h.}$$

$$A_{EA} = \text{S/} .753.97 \cong \$229.87 \text{ Año}$$

3. AHORRO POR POTENCIA ACTIVA DE GENERACION:

Reemplazando los datos en la ecuación 33:

$$A_{PG} = 0.582 \text{ KW} \times 12 \text{ meses} \times 51.53 \text{ S./kW.h} - \text{mes}$$

$$A_{EA} = \text{S/} .359.74 \cong \$ 109.67 \text{ año.}$$

4. AHORRO POR POTENCIA ACTIVA DE REDES DE DISTRIBUCION:

Reemplazando los datos en la ecuación 34:

$$A_{RD} = 0.582 \text{ KW} \times 12 \text{ meses} \times 13.25 \text{ S./kW} - \text{mes}$$

$$A_{EA} = \text{S/} .92.5 \cong \$ 28.20 \text{ año.}$$

5. AHORRO ENERGIA Y POTENCIA:

Reemplazando los datos en la ecuación 35:

$$A_{EP} = \$229.87 + \$109.67 + \$28.20$$

$$A_{EP} = \$367.75$$



6. AHORRO POR LA COMPRA DEL MOTOR ELECTRICO:

Reemplazando los datos en la ecuación 36:

- Precio de 2 motores de 25 hp = \$ 10,281.84

(Precio incluye instalación y mtto. Por 3 años)

- Precio 2 motores de 20 hp = \$ 0.00

(por utilizar los mismos motores anteriores), se considera el costo del mantenimiento del motor anterior.

$$A_{CM} = \$ 10,381.84 - \$ 1,200.00$$

$$A_{CM} = \$ 9,081.84$$

A.4. PARA 5340 TCD

De los datos:

$$POT_{STD\ ELEC.} = 13.435\ KW$$

$$POT_{AELEC.} = 12.848\ KW$$

$$C_{EA}\ (Tarifa\ MT4) = 18.43\ ctm.\ S./kW.h$$

$$C_{PAG}\ (Tarifa\ MT4) = 51.53\ S./kW.h - mes.$$

$$C_{PRD}\ (Tarifa\ MT4) = 13.25\ S./kW.h - mes.$$

$$H_{OA} = 7200\ Hr.$$

$$Meses = 12$$

$$\text{Años de operación} = 5\ años$$

$$\text{Tipo de cambio} = 3.28\ soles.$$

1. AHORRO EN POTENCIA DEMANDADA:

Reemplazando los datos en la ecuación 31:

$$A_D = 13.435\ KW - 12.848\ KW.$$

$$A_D = 0.58\ KW.$$



2. AHORRO POR ENERGIA ACTIVA:

Reemplazando los datos en la ecuación 32:

$$A_{EA} = 0.58 \text{ KW} \times 7200 \text{ h} \times 18.43 \text{ ctm. S/./kW.h.}$$

$$A_{EA} = \text{S/} .761.49 \cong \$232.16 \text{ Año}$$

3. AHORRO POR POTENCIA ACTIVA DE GENERACION:

Reemplazando los datos en la ecuación 33:

$$A_{PG} = 0.58 \text{ KW} \times 12 \text{ meses} \times 51.53 \text{ S/./kW.h} - \text{mes}$$

$$A_{EA} = \text{S/} .363.33 \cong \$ 110.77 \text{ año.}$$

4. AHORRO POR POTENCIA ACTIVA DE REDES DE DISTRIBUCION:

Reemplazando los datos en la ecuación 35:

$$A_{RD} = 0.58 \text{ KW} \times 12 \text{ meses} \times 13.25 \text{ S/./kW} - \text{mes}$$

$$A_{EA} = \text{S/} .93.42 \cong \$ 28.48 \text{ año.}$$

5. AHORRO POR ENERGIA Y POTENCIA:

Reemplazando los datos en la ecuación 48:

$$A_{St} = \$232.16 + \$110.77 + \$28.48$$

$$A_{EP} = 371.42$$

6. AHORRO POR LA COMPRA DEL MOTOR ELECTRICO:

Reemplazando los datos en la ecuación 36:

- Precio 2 motores de 30 hp = \$ 10,830.20

(Precio incluye instalación y mtto. Por 3 años)

- Precio 2 motores de 20 hp = \$ 0.00

(por utilizar los mismos motores anteriores) se considera el costo del mantenimiento del motor anterior.

$$A_{CM} = \$ 10,830.20 - \$ 1,500.00$$



$$A_{CM} = \$ 9,330.20$$

A continuación se presenta el resumen en la tabla siguiente:

TABLA 15.

Ahorro económico y costos para cada capacidad de molienda.

CAPACIDAD DE MOLIENDA (TCD)	PARAMETRO	VALOR (\$)
3000	Ahorro por energía y potencia	372.92
	Ahorro por compra de motores	798.22
	Costo de 02 motores 20 HP	6,489.92
	Costo de instalación de 02 motores 20 HP	400.00
	Costo de mantenimiento de 02 motores 20 HP (3 años)	900.00
4000	Ahorro por energía y potencia	328.76
	Ahorro por compra de motores	1,819.38
	Costo de 02 motores 25 HP	8,681.84
	Costo de instalación de 02 motores 25 HP	400.00
	Costo de mantenimiento de 02 motores 25 HP (3 años)	900.00
4500	Ahorro por energía y potencia	367.75
	Ahorro por compra de motores	9,081.84
	Costo de 02 motores 28 HP	8,681.84
	Costo de instalación de 02 motores 28 HP	400.00
	Costo de mantenimiento de 02 motores 28 HP (3 años)	1,200.00
5340	Ahorro por energía y potencia	371.42
	Ahorro por compra de motores	9,330.20
	Costo de 02 motores 30 HP	8,930.20
	Costo de instalación de 02 motores 30 HP	400.00
	Costo de mantenimiento de 02 motores 30 HP (5 años)	1,500.00

B. VALOR ACTUAL NETO (VAN)

Remplazando en la ecuación 37 los datos de la tabla 15, el ingreso neto actual se calcula en función al ahorro en la compra de motores de alta eficiencia en comparación de motores sobre dimensionados por aumento en la cada capacidad de molienda.



TABLA 16.

Valor actual neto.

PARAMETRO	VALOR (\$)	UNIDAD
Tasa de interes (i)	12	%
Vida util del proyecto (n)	15	años
Valor atual neto (VAN)	106.11	\$



Figura 15: Flujo de caja de la Inversión

C. TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)

Para la determinación de la tasa interna de retomo se toma en cuenta la ecuación 38, así como los criterios del ítem de evaluación económica del capítulo de marco teórico donde se detalla que el TIR debe ser igual o mayor a su tasa de interés para que el proyecto sea económicamente viable. Considerando el VAN= 0. Se tiene:



TABLA 17.

Tasa interna de retorno.

PARAMETRO	VALOR	UNIDAD
Tasa interno de retorno (TIR)	12.21	%

D. TIEMPO DE RECUPERACION DE LA INVERSION (PAY BACK)

Para la determinación de la rentabilidad de la inversión se tiene en cuenta la ecuación 39 del capítulo de marco teórico.

TABLA 18.

Rentabilidad del proyecto.

PARAMETRO	VALOR	UNIDAD
Rentabilidad del proyecto (Pay back)	6.00	años



DISCUSION

REFERENTE AL FACTOR DE CARGA

- ✓ En la evaluación que se realiza para determinar el valor del factor de carga de los motores eléctricos de alta eficiencia, se considera que los motores con eficiencia estándar trabajaran en las mismas condiciones que en las de capacidad molienda de 3000 TCD. Ósea con un valor del factor de carga de 0.515.

REFERENTE A LA EVALUACION ECONOMICA

- ✓ El ahorro por energía activa y potencia del proyecto, en comparación a otros ejemplos (se puede citar en el país de México), es relativamente bajo por motivos de precio de energía en otros países.
- ✓ Se obtiene un valor actual neto de \$106.11, el cual es mayor a cero. Se puede considerar como un valor relativamente bajo, considerando que la electrobomba es un equipo consumidor de energía y que no produce energía, es aceptable.
- ✓ El TIR 12.21% mayor que la tasa de interés y el Pay Back 6 años menor al tiempo de vida útil estimada para la inversión. Todas estas condiciones se cumplen



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



CONCLUSIONES:

1. Se logró determinar, que para las capacidades de molienda de 3000, 4000, 4500 y 5340 TCD, los flujos de condensados de los pre-evaporadores son de 69.26, 83.95, 94.44, y 100.86 m³/h respectivamente.
2. Se determinó las potencias de las motores eléctricos que accionan las bombas centrifugas de los condensados de los pre-evaporadores, siendo que para una capacidad de molienda de 3000 TCD se tendrá un motor eléctrico de 15 HP y para las capacidades de molienda de 4000, 4500 y 5340 TCD, se tendrá un motor eléctrico de 20 HP. Cabe resaltar que son motores eléctricos de alta eficiencia, logrando minimizar la potencia instalada de cuatro motores estándar sobredimensionados que se podrían instalar.
3. Se determinó los NPSH_d (Carga Neta de succión Positiva Disponible) disponibles de las bombas de condensados de los pre-evaporadores, siendo estos de 16.20, 16.15, 16.12 y 16.09 m. para las capacidades de molienda de 3000, 4000, 4500 y 5340 TCD respectivamente. se puede elegir una bomba con NPSH_r = 16.69 o menor a este para los diferentes escenarios de capacidad de molienda.
4. Se logra determinar que para las capacidades de 3000, 4000, 4500 y 5340 TCD, se trabajara con motores eléctricos con factores de carga de 0.67, 0.64, 0.74 y 0.80 respectivamente, superando así el factor de carga de los motores estándar sobredimensionados que cuentan con un factor de carga de 0.515.



5. Se calculó el valor actual neto del proyecto, arrojando un valor de \$106.11, también se determinó la tasa interna de retorno con un valor de 12.21%. Además, también se logró determinar el periodo de retorno de la inversión (PAYBACK) obteniendo un valor de 6 años



RECOMENDACIONES:

1. Debido a las condiciones de trabajo que se someten a los motores eléctricos de las bombas de condensado, siendo uno de ellos los continuos tiempos de operación al año, es necesario elegir motores eléctricos de alta eficiencia, ya que los motores eléctricos estándar están diseñados mayormente para cortas tiempos de operación o tiempos intermitentes.
2. Luego de ser instalado el equipo elegido, es necesario realizar monitoreo diario y/o semanal recogiendo datos de corriente, voltaje y factor de potencia, para luego analizar y comparar los resultados obtenidos en el presente estudio.
3. Una recomendación importante para continuar con esta investigación es la de utilizar todas las técnicas posibles para determinar la carga del motor, y así contar con más recursos para definir a que factor de carga está trabajando.



REFERENCIAS

- ✓ McNaughton, K. J. (1988). *Bombas Selección, uso y mantenimiento*. México: McGRAW-HILL
- ✓ Mataix, C. (1975). *Turbo máquinas hidráulicas: turbinas hidráulicas, bombas, ventiladores (2ª ed.)*. Sevilla, España: ICAI.
- ✓ Baca Urbina, G. (2007). *Fundamentos de ingeniería económica (4ª ed.)*. México: McGraw-Hill Interamericana editores SA.
- ✓ Polo Encinas, M. (1976). *Turbo máquinas hidráulicas*. México: Limusa.
- ✓ Glaymar Clavel. (2006). *Análisis hidráulico y reducción de consumo energético en bombas del molino smurfit kappa –cartoven*. Sartenejas: Universidad Simón Bolívar de Venezuela.
- ✓ Barreto Inca, C. (2017). *Optimización del sistema de bombeo– construcción y drenaje-Unidad Minera Antapaccay*. Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.
- ✓ Sánchez Villafana, Eder & Quesquén Salazar Nitón (2015). *Evaluación de los procesos energéticos para su optimización en la ampliación de molienda del ingenio San Jacinto S.A*. Nvo. Chimbote: Universidad Nacional del Santa.
- ✓ Rodríguez Ayala, Michel, Y. (2014). *Mejoramiento del sistema de bombeo para evacuación eficiente de aguas subterráneas en Volcan Compañía Minera SAA-Unidad San Cristóbal*. Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú.
- ✓ HIDROSTAL, (2009). *Principios hidráulicos de bombas centrifugas* Catalogo electrónico.



- ✓ Electricidad industrial: ¿Cómo ahorrar hasta 60% de energía?(05 de marzo del 2018). *El Comercio*, p.10.
- ✓ Ciro Quispe, Enrique y Mantilla Peñalba, Luis (2004) MOTORES ELÉCTRICOS DE ALTA EFICIENCIA. *Revista Energía y Computación*, 12(2000), (1-10).
- ✓ Quispe, E. C., & Mantilla Peñalba, L. F. (2004). *Motores eléctricos de alta eficiencia*. *Revista Energía y Computación*, 12(1). Recuperado de : <http://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/10893/1417/1/Motores%20electricos%20de%20alta%20eficiencia.pdf>
- ✓ Rueda Albino, A, (2017) *Motores de alta eficiencia*. México: Programa del ahorro de energía del sector eléctrico. Recuperado de : <http://www.canacindraens.org/download/capacitacion/Motores.pdf>
- ✓ Marigorta, E. B., Suárez, S. V., & Francos, J. F. (1994). *Sistemas de bombeo*. Recuperado de: https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/38272633/52355465SistemasdeBombeo.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1527787887&Signature=tUrta0DhYcUjyuEhFPeaSgmMYWQ%3D&response-content-Disposition=inline%3B%20filename%3DLc_Le_M_N_nm_Pat_Pot_PotH_PotB_Ps_Pr_Pt.pdf
- ✓ UNATSABAR, C. (2005). *Guías para el diseño de estaciones de bombeo de agua potable*. In *Guías para el diseño de estaciones de bombeo de agua potable*. OPS. Recuperado de :



<http://www.bvsde.paho.org/tecapro/documentos/agua/161esp-diseno-estbombeo.pdf>

- ✓ FIDE (2002) Ahorro de energía mediante la evaluación energética de motores eléctricos. Recuperado de:
<http://www.baldordistribuidora.com/procedimientomotores.pdf>
- ✓ Lozano, E. (2013). *Modulo Ingeniería Sanitaria*. Recuperado de :
<http://www.gisperu.com/edu/cursos/curso%20ing%20sanitaria/Ing.San-Mod.pdf>
- ✓ HIDROSTAL, (2012). *Manual del usuario, Instalación, operación y mantenimiento*. Recuperado de:
[http://www.hidrostal.com.pe/pdf/manuales/L3/MANUAL%20LINEA-3%2017%20BOMBA%20A02Q%20\(03-2015\).pdf](http://www.hidrostal.com.pe/pdf/manuales/L3/MANUAL%20LINEA-3%2017%20BOMBA%20A02Q%20(03-2015).pdf)
- ✓ OPS-COSUDE (2007). *Guía para la selección equipos de bombeo para sistemas de abastecimiento de agua y saneamiento para el medio rural*. recuperado de:
<http://www.bvsde.opsoms.org/tecapro/documentos/miscela/guiaselectquiposbombeo-rural.pdf>
- ✓ Lozano García, Eleazar (2013). *Modulo Ingeniería Sanitaria*. Universidad Cesar Vallejo. Recuperado de:
<http://www.gisperu.com/edu/cursos/instalaciones/Ins.Edi-Mod.pdf>



ANEXOS



TUBERIA DE ACERO AL CARBONO
API 5L / ASTM A53 / A106

www.vemacero.com

Diámetro Nominal NPS		Diámetro Exterior Real		Espesor de Pared		Identificación		Peso del Tubo		ASTM A53 PRESION DE PRUEBA			
Pulgadas in.	Milímetros mm.	(in.)	mm.	Pulgadas (in.)	Milímetros (mm.)	Weight Class	Schedule	lb/pie	kg/m	Grado A		Grado B	
										psi	Kg/cm2	psi	Kg/cm2
1/2	15	0.840	21.3	0.109	2.77	STD	40	0.85	1.27	700	49	700	49
				0.147	3.73	XS	80	1.09	1.62	850	60	850	60
3/4	20	1.050	26.7	0.113	2.87	STD	40	1.13	1.69	700	49	700	49
				0.154	3.91	XS	80	1.47	2.20	850	60	850	60
1	25	1.315	33.4	0.133	3.38	STD	40	1.68	2.50	700	49	700	49
				0.179	4.55	XS	80	2.17	3.24	850	60	850	60
1-1/4	32	1.660	42.2	0.140	3.56	STD	40	2.27	3.39	1200	84	1300	91
				0.191	4.85	XS	80	3.00	4.47	1800	127	1900	134
1-1/2	40	1.900	48.3	0.145	3.68	STD	40	2.72	4.05	1200	84	1300	91
				0.200	5.08	XS	80	3.63	5.41	1800	127	1900	134
2	50	2.375	60.3	0.154	3.91	STD	40	3.65	5.44	2300	162	2500	176
				0.218	5.54	XS	80	5.02	7.48	2500	176	2500	176
2-1/2	65	2.875	73	0.203	5.16	STD	40	5.79	8.63	2500	176	2500	176
				0.276	7.01	XS	80	7.66	11.41	2500	176	2500	176
				0.375	9.52	-	160	-	-	2500	176	2500	176
				0.552	14.02	XXS	-	-	-	2500	176	2500	176
3	80	3.500	88.9	0.125	3.18	-	-	4.51	6.72	1290	91	1500	105
				0.156	3.96	-	-	5.57	8.29	1600	112	1870	131
				0.188	4.78	-	-	6.65	9.92	1930	136	2260	159
				0.216	5.49	STD	40	7.58	11.29	2220	156	2500	176
				0.250	6.35	-	-	8.68	12.93	2500	176	2500	176
				0.281	7.14	-	-	9.66	14.40	2500	176	2500	176
				0.300	7.62	XS	80	10.25	15.27	2500	176	2500	176
				0.312	7.92	-	-	10.79	16.07	1900	134	2210	155
4	100	4.500	114.3	0.125	3.18	-	-	5.84	8.71	1000	70	1170	82
				0.156	3.96	-	-	7.24	10.78	1250	88	1460	103
				0.188	4.78	-	-	8.66	12.91	1500	105	1750	123
				0.219	5.56	-	-	10.01	14.91	1750	123	2040	143
				0.237	6.02	STD	40	10.79	16.07	1900	134	2210	155
				0.250	6.35	-	-	11.35	16.90	2000	141	2330	164
				0.281	7.14	-	-	12.66	18.87	2250	158	2620	184
				0.312	7.92	-	-	13.98	20.78	2500	176	2800	197
				0.337	8.56	XS	80	14.98	22.32	2700	190	2800	197
				0.438	11.13	-	120	19.00	28.32	2800	197	2800	197
				0.531	13.49	-	160	22.51	33.54	2800	197	2800	197
				0.674	17.12	XXS	-	27.54	41.03	2800	197	2800	197
5	125	5.563	141.3	0.188	4.78	-	-	10.79	16.09	1220	86	1420	100
				0.219	5.56	-	-	12.50	18.61	1420	100	1650	116
				0.258	6.55	STD	40	14.62	21.77	1670	117	1950	137
				0.281	7.14	-	-	15.85	23.62	1820	128	2120	149
				0.312	7.92	-	-	17.50	26.05	2020	142	2360	166
				0.344	8.74	-	-	19.17	28.57	2230	157	2600	183
6	150	6.625	168.3	0.375	9.52	XS	80	20.78	30.94	2430	171	2800	197
				0.188	4.78	-	-	12.92	19.27	1020	72	1190	84
				0.219	5.56	-	-	14.98	22.31	1190	84	1390	98
				0.250	6.35	-	-	17.02	25.36	1360	96	1580	111
				0.280	7.11	STD	40	18.97	28.26	1520	107	1780	125
				0.312	7.92	-	-	21.04	31.32	1700	120	1980	139
				0.344	8.74	-	-	23.08	34.39	1870	131	2180	153
				0.375	9.52	-	-	25.02	37.28	2040	143	2380	167
				0.432	10.97	XS	80	28.57	42.56	2350	165	2740	193
				0.562	14.27	-	120	36.39	54.20	2800	197	2800	197
				0.719	18.26	-	160	45.35	67.56	2800	197	2800	197
				0.864	21.95	XXS	-	53.16	79.22	2800	197	2800	197



TUBERIA DE ACERO AL CARBONO
API 5L / ASTM A53 / A106

www.vemacero.com

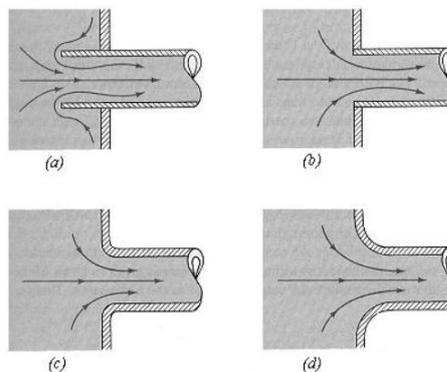
Diámetro Nominal NPS DN		Diámetro Exterior Real		Espesor de Pared		Identificación		Peso del Tubo		ASTM A53 PRESION DE PRUEBA							
Pulgadas in.	Milímetros mm.	(in.)	mm.	Pulgadas (in.)	Milímetros (mm.)	Weight Class	Schedule	lb/pe	kg/m	Grado A		Grado B					
										psi	Kg/cm2	psi	Kg/cm2				
8	200	8.625	219,1	0.188	4.78	-	-	16.94	25.26	780	55	920	65				
				0.203	5.16	-	-	18.26	27.22	850	60	1000	70				
				0.219	5.56	-	-	19.66	29.28	910	64	1070	75				
				0.250	6.35	-	20	22.36	33.31	1040	73	1220	86				
				0.277	7.04	-	30	24.70	36.81	1160	82	1350	95				
				0.312	7.92	-	-	27.70	41.24	1300	91	1520	107				
				0.322	8.18	STD	40	28.55	42.55	1340	94	1570	110				
				0.344	8.74	-	-	30.42	45.34	1440	101	1680	118				
				0.375	9.52	-	-	33.04	49.20	1570	110	1830	129				
				0.406	10.31	-	60	35.64	53.08	1700	120	2000	141				
				0.438	11.13	-	-	38.30	57.08	1830	129	2130	150				
				0.500	12.70	XS	80	43.39	64.64	2090	147	2430	171				
				0.594	15.09	-	100	50.95	75.92	2500	176	2800	197				
				0.719	18.26	-	120	60.71	90.44	2800	197	2800	197				
				0.812	20.62	-	140	67.76	100.92	2800	197	2800	197				
				0.875	22.22	XXS	-	72.42	107.88	2800	197	2800	197				
				0.906	23.01	-	160	74.69	111.27	2800	197	2800	197				
				10	250	10.750	273,0	0.188	4.78	-	-	21.21	31.62	630	44	730	51
0.203	5.16	-	-					22.87	34.08	680	48	800	56				
0.219	5.56	-	-					24.63	36.67	730	51	860	60				
0.250	6.35	-	20					28.04	41.75	840	59	980	69				
0.279	7.09	-	-					31.20	46.49	930	65	1090	77				
0.307	7.80	-	30					34.24	51.01	1030	72	1200	84				
0.344	8.74	-	-					38.23	56.96	1150	81	1340	94				
0.365	9.27	STD	40					40.48	60.29	1220	86	1430	101				
0.438	11.13	-	-					48.19	71.87	1470	103	1710	120				
0.500	12.70	XS	60					54.71	81.52	1670	117	1950	137				
0.594	15.09	-	80					64.43	95.97	1990	140	2320	163				
0.719	18.26	-	100					77.03	114.70	2410	169	2800	197				
0.844	21.44	-	120					89.29	133.00	2800	197	2800	197				
1.000	25.40	XXS	140					104.13	155.09	2800	197	2800	197				
1.125	28.57	-	160					115.65	172.21	2800	197	2800	197				
12	300	12.750	323,8					0.203	5.16	-	-	27.20	40.55	570	40	670	47
								0.219	5.56	-	-	29.31	43.63	620	44	720	51
								0.250	6.35	-	20	33.38	49.71	710	50	820	58
				0.281	7.14	-	-	37.42	55.75	790	56	930	65				
				0.312	7.92	-	-	41.45	61.69	880	62	1030	72				
				0.330	8.38	-	30	43.77	65.18	930	65	1090	77				
				0.344	8.74	-	-	45.58	67.90	970	68	1130	79				
				0.375	9.52	STD	-	49.52	73.78	1060	75	1240	87				
				0.406	10.31	-	40	53.52	79.70	1150	81	1340	94				
				0.438	11.13	-	-	57.59	85.82	1240	87	1440	101				
				0.500	12.70	XS	-	65.42	97.43	1410	99	1650	116				
				0.562	14.27	-	60	73.15	108.92	1590	112	1850	130				
				0.688	17.28	-	80	88.63	132.04	1940	136	2270	160				
				0.844	21.44	-	100	107.32	159.86	2390	168	2780	195				
				1.000	25.40	XXS	120	125.49	186.91	2800	197	2800	197				
				1.125	28.57	-	140	139.68	208.00	2800	197	2800	197				
				1.312	33.32	-	160	160.27	238.68	2800	197	2800	197				

Anexo 01: Especificaciones técnicas de tubería de acero al carbono.

Fuente: vemacero.com/catalogo.

Diámetro		Velocidades (m/s)
mm	pulgadas	
25	1	1.00
50	2	1.10
75	3	1.15
100	4	1.25
150	6	1.50
200	8	1.75
250	10	2.00
300	12	2.65
> 300	> 12	3.00

Anexo 02: Velocidades máximas en tuberías
 Fuente: Manual de Hidráulica de Azevedo Netto. 1995



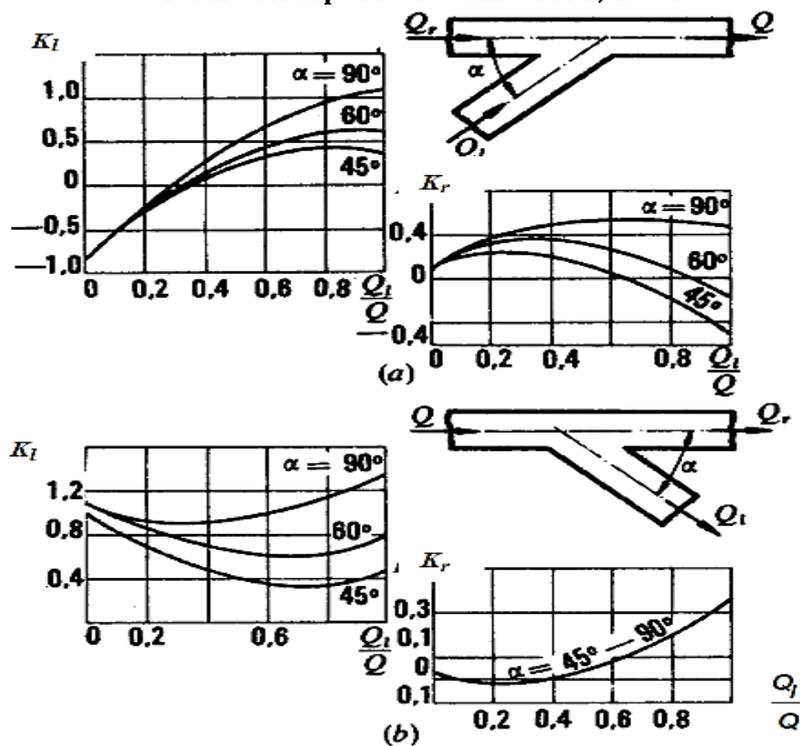
Coefficientes de pérdida. (a) Entrada de borda $K=0.8$, (b) Entrada normal $K=0.5$, (c) Entrada ligeramente redondeada $K=0.20$, (d) Entrada bien redondeada $K= 0.04$

Anexo 03: Coeficiente de entrada por entrada de tubería
 Fuente: Munson B. R. et. al.,1994

Tipo de accesorio	Diámetro nominal (pulgadas)								
	Roscada				Con bridas o extremo liso				
	1/2	1	2	4	1	2	4	8	20
Válvulas completamente abiertas									
Globo	14.00	8.20	6.90	5.70	13.00	8.50	6.00	5.80	5.50
Compuerta	0.30	0.24	0.16	0.11	0.80	0.35	0.16	0.07	0.03
Cheque	5.10	2.90	2.10	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Angulo	9.00	4.70	2.00	1.00	4.50	2.40	2.00	2.00	2.00
Codos									
45° radio corto	0.39	0.32	0.30	0.29					
45° radio largo					0.21	0.20	0.19	0.16	0.14
90° radio corto	2.0	1.50	0.95	0.64	0.50	0.39	0.30	0.26	0.21
90° radio largo	1.0	0.72	0.41	0.23	0.40	0.30	0.19	0.15	0.10
180° radio corto	2.0	1.50	0.95	0.64	0.41	0.35	0.30	0.25	0.20
180° radio largo					0.40	0.30	0.21	0.15	0.10
Tee de paso directo	0.90	0.90	0.90	0.90	0.24	0.19	0.14	0.10	0.07
Tee de salida lateral	2.40	1.80	1.40	1.10	1.00	0.80	0.64	0.58	0.41

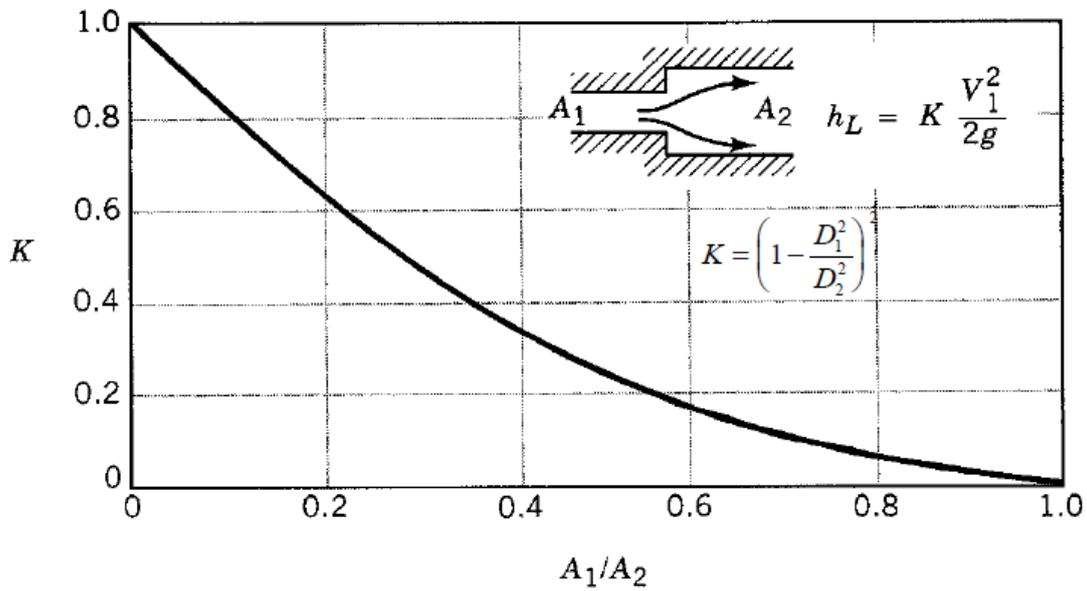
Anexo 04: Coeficientes de pérdidas (K) para aditamentos en tuberías de diferente diámetro

Fuente: Adaptado de White F. M., 1994



Anexo 05: Coeficiente de pérdida (K) por bifurcación y confluencia en tuberías con cantos agudos.

Fuente: Adaptado de Mataix C., 1982



Anexo 06: Coeficiente de pérdida (K) para expansión brusca.
Fuente: Munson B. R. et al., 1994

Altura sobre el nivel del mar		Presión atmosférica (Pa)	
m	ft	m	Pa
0	0	10.33	14.69
250	820	10.03	14.26
500	1640	9.73	13.83
750	2640	9.43	13.41
1000	3280	9.13	12.98
1250	4101	8.83	12.55
1500	4291	8.53	12.13
1750	5741	8.25	11.73
2000	6561	8.00	11.38
2250	73.81	7.75	11.02
2500	8202	7.57	10.68
2750	9022	7.28	10.35
3000	9842	7.05	10.02
3250	10662	6.83	9.71
3500	11483	6.62	9.42
3750	12303	6.41	9.12
4000	13123	6.20	8.82
4250	13943	5.98	8.52
4500	14764	5.78	8.22

Anexo 07: Disminución de la presión atmosférica.
Fuente: Diseño de Estación de bombeo - COSUDE, Lima 2005



Temperatura		Peso especifico Kg/dm ³	Presión de vapor (P.V.P)	
C°	F°		M. Abs.	P.SI.Abs
0	32	0.9998	0.062	0.088
5	41	1.000	0.089	0.127
10	50	0.9996	0.125	0.1781
5	59	0.9990	0.174	0.247
20	68	0.9982	0.238	0.338
25	77	0.9970	0.323	0.459
30	86	0.9955	0.432	0.614
35	95	0.9939	0.573	0.815
40	104	0.9921	0.752	1.070
45	113	0.9900	0.977	1.389
50	122	0.9880	1.258	1.789
55	131	0.9857	1.605	2.283
60	140	0.9831	2.031	2.889
70	158	0.977	3.177	4.519
75	167	0.9748	3.931	5.591
80	179	0.9718	4.829	6.869
85	185	0.9687	5.894	8.383
90	194	0.9653	7.149	10.168
95	203	0.9619	8.619	12.259
100	212	0.9583	10.332	14.696

Anexo 08: Presión de vapor de agua.

Fuente: Diseño de Estación de bombeo - COSUDE, Lima 2005



Material	C_{HW}
Acero corrugado	60
Acero con juntas lock-bar (nuevo)	135
Acero galvanizado (nuevo y usado)	125
Acero remachado (nuevo)	110
Acero remachado (usado)	85
Acero soldado o con remache avellanado y embutido (nuevo)	120
Acero soldado o con remache avellanado y embutido (usado)	90
Hierro soldado, con revestimiento especial (nuevo y usado)	130
Hierro fundido limpio (nuevo)	130
Hierro fundido sin incrustaciones (usado)	110
Hierro fundido con incrustaciones (viejo)	90
Plástico (PVC)	150
Asbesto cemento (nuevo)	135
Cobre y latón	130
Conductos con acabado interior de cemento pulido	100
Concreto, acabado liso	130
Concreto, acabado común	120
Tubos de barro vitrificado (drenes)	110
Madera cepillada o en duelas	120

Anexo 09. Coeficiente de velocidad C para la ecuación de Hazen-Williams.

Fuente: Sotelo A., G. 1982

TESIS: "Evaluación energética para optimizar el sistema de bombeo de condensados"



Pot (hp)	Tipo	Carcaza	Polos	rpm	Ef0.25	Ef0.50	Ef0.75	Ef1.0	\$ USD
5	STD	abierto	2	3600	0.7615	0.8247	0.8374	0.8270	259.74
			4	1800	0.7435	0.8152	0.8422	0.8320	255.81
			6	1200	0.7735	0.8118	0.8285	0.8383	389.54
			8	900	0.7020	0.8003	0.8267	0.8218	704.44
		cerrado	2	3600	0.7633	0.8424	0.8608	0.8575	323.35
			4	1800	0.7840	0.8528	0.8633	0.8549	292.05
			6	1200	0.7674	0.8204	0.8443	0.8470	520.09
			8	900	0.7230	0.8090	0.8365	0.8350	1,027.65
	AE	abierto	2	3600	0.8080	0.8637	0.8797	0.8753	421.20
			4	1800	0.8358	0.8927	0.8963	0.8898	390.98
			6	1200	0.8266	0.8793	0.8900	0.8891	500.69
			8	900	0.8170	0.8845	0.8965	0.8900	867.53
		cerrado	2	3600	0.8267	0.8811	0.8938	0.8894	466.61
			4	1800	0.8429	0.8963	0.9055	0.8959	427.51
			6	1200	0.8375	0.8918	0.9014	0.8931	676.06
			8	900	0.8130	0.8828	0.8945	0.8900	917.31
7.5	STD	abierto	2	3600	0.8090	0.8563	0.8616	0.8483	323.58
			4	1800	0.8044	0.8523	0.8588	0.8492	328.05
			6	1200	0.7675	0.8460	0.8570	0.8488	601.33
			8	900	0.7430	0.8358	0.8506	0.8498	906.86
		cerrado	2	3600	0.7933	0.8619	0.8758	0.8586	433.72
			4	1800	0.7985	0.8679	0.8783	0.8722	438.13
			6	1200	0.7941	0.8449	0.8595	0.8567	729.14
			8	900	0.7420	0.8332	0.8743	0.8329	1,155.98
	AE	abierto	2	3600	0.8630	0.9066	0.9057	0.8897	531.52
			4	1800	0.8431	0.9019	0.9088	0.9060	459.55
			6	1200	0.8362	0.8933	0.9034	0.9029	702.41
			8	900	0.8360	0.8945	0.9010	0.8940	1,047.37
		cerrado	2	3600	0.8495	0.8993	0.9080	0.9024	566.00
			4	1800	0.8561	0.9077	0.9150	0.9102	577.99
			6	1200	0.8482	0.9017	0.9111	0.9078	924.33
			8	900	0.8294	0.8867	0.8960	0.8857	1,388.40
25	STD	abierto	2	3600	0.8510	0.8950	0.9017	0.8886	720.77
			4	1800	0.8714	0.9056	0.9085	0.8932	756.75
			6	1200	0.8544	0.8932	0.8990	0.8913	1,205.28
			8	900	0.8430	0.8818	0.8913	0.8825	1,800.50
		cerrado	2	3600	0.8406	0.8907	0.9021	0.8883	955.50
			4	1800	0.8691	0.9121	0.9171	0.9055	1,073.55
			6	1200	0.8411	0.8901	0.8994	0.8915	1,630.81
			8	900	0.7890	0.8720	0.8850	0.8817	2,516.80
	AE	abierto	2	3600	0.8804	0.9271	0.9305	0.9264	966.96
			4	1800	0.8919	0.9357	0.9387	0.9331	1,011.44
			6	1200	0.8910	0.9350	0.9372	0.9281	1,548.08
			8	900	0.8905	0.9237	0.9260	0.9147	2,182.27
		cerrado	2	3600	0.8835	0.9220	0.9292	0.9234	1,334.00
			4	1800	0.9109	0.9372	0.9401	0.9352	1,254.78
			6	1200	0.9050	0.9348	0.9366	0.9274	2,183.35
			8	900	0.8833	0.9195	0.9216	0.9084	2,946.94
30	STD	abierto	2	3600	0.8651	0.8998	0.9043	0.8916	847.99
			4	1800	0.8821	0.9168	0.9157	0.8986	897.26
			6	1200	0.9073	0.9068	0.9093	0.9019	1,370.92
			8	900	0.8355	0.8865	0.8960	0.8868	2,030.60
		cerrado	2	3600	0.8543	0.8956	0.9049	0.8930	1,071.69
			4	1800	0.8871	0.9168	0.9210	0.9090	1,221.27
			6	1200	0.8387	0.9009	0.9078	0.8994	1,902.79
			8	900	0.8330	0.8894	0.8952	0.8830	2,907.32
	AE	abierto	2	3600	0.8726	0.9218	0.9275	0.9290	1,125.62
			4	1800	0.9001	0.9380	0.9411	0.9334	1,166.14
			6	1200	0.9003	0.9377	0.9383	0.9338	1,748.50
			8	900	0.8960	0.9260	0.9298	0.9251	2,518.83
		cerrado	2	3600	0.8827	0.9237	0.9290	0.9244	1,565.49
			4	1800	0.9138	0.9406	0.9424	0.9358	1,495.02
			6	1200	0.9092	0.9352	0.9370	0.9296	2,505.96
			8	900	0.8830	0.9246	0.9296	0.9234	3,604.64
75	STD	abierto	2	3600	0.8675	0.9066	0.9163	0.9105	2,289.58
			4	1800	0.8788	0.9224	0.9255	0.9192	2,154.75
			6	1200	0.8890	0.9234	0.9224	0.9132	3,038.24
			8	900	0.8580	0.9135	0.9188	0.9112	4,240.21
		cerrado	2	3600	0.8698	0.8867	0.9047	0.9113	3,577.94
			4	1800	0.8966	0.9173	0.9293	0.9272	3,553.95
			6	1200	0.8905	0.9121	0.9189	0.9184	4,510.27
			8	900	0.8340	0.9060	0.9127	0.9047	6,612.23
	AE	abierto	2	3600	0.9042	0.9369	0.9430	0.9438	2,641.17
			4	1800	0.9248	0.9512	0.9542	0.9509	2,402.93
			6	1200	0.9150	0.9487	0.9489	0.9483	3,816.87
			8	900	0.9070	0.9422	0.9464	0.9435	5,073.49
		cerrado	2	3600	0.9061	0.9400	0.9454	0.9427	4,382.14
			4	1800	0.9283	0.9482	0.9523	0.9500	4,101.98
			6	1200	0.9098	0.9430	0.9487	0.9463	5,510.17
			8	900	0.8991	0.9388	0.9433	0.9391	7,658.52
100	STD	abierto	2	3600	0.8903	0.9212	0.9248	0.9158	2,770.17
			4	1800	0.8858	0.9221	0.9268	0.9184	2,469.84
			6	1200	0.8735	0.9216	0.9276	0.9233	3,721.41
			8	900	0.8685	0.9157	0.9200	0.9183	5,534.26
		cerrado	2	3600	0.8843	0.8987	0.9110	0.9147	4,703.18
			4	1800	0.8910	0.9267	0.9340	0.9337	4,890.60
			6	1200	0.8680	0.9211	0.9297	0.9260	5,859.82
			8	900	0.8790	0.9215	0.9265	0.9155	8,448.70
	AE	abierto	2	3600	0.9090	0.9364	0.9403	0.9386	3,212.21
			4	1800	0.9293	0.9516	0.9546	0.9508	3,060.77
			6	1200	0.9050	0.9427	0.9480	0.9462	4,694.63
			8	900	0.9170	0.9460	0.9490	0.9437	6,430.45
		cerrado	2	3600	0.8927	0.9347	0.9437	0.9442	5,699.27
			4	1800	0.9270	0.9502	0.9551	0.9518	5,172.45
			6	1200	0.9190	0.9446	0.9505	0.9476	7,186.40
			8	900	0.9110	0.9420	0.9452	0.9373	9,552.08

TESIS: "Evaluación energética para optimizar el sistema de bombeo de condensados"



10	STD	abierto	2	3600	0.8123	0.8649	0.8783	0.8684	336.32	40	STD	abierto	2	3600	0.8883	0.9090	0.9111	0.8970	1,093.72	125	STD	abierto	2	3600	0.8840	0.9195	0.9255	0.9199	3,658.28
			4	1800	0.8181	0.8653	0.8696	0.8539	394.32				4	1800	0.8939	0.9028	0.9109	0.9046	1,137.34				4	1800	0.9220	0.9373	0.9373	0.9318	3,290.95
			6	1200	0.8513	0.8646	0.8808	0.8747	663.30				6	1200	0.8718	0.9063	0.9122	0.9058	1,973.21				6	1200	0.8855	0.9272	0.9275	0.9224	4,535.98
			8	900	0.7950	0.8562	0.8676	0.8570	1,021.28				8	900	0.8500	0.8975	0.9035	0.8935	2,410.85				8	900	0.9182	0.9417	0.9422	0.9356	10,267.76
	cerrado	2	3600	0.8328	0.8866	0.8873	0.8680	533.50	cerrado		2	3600	0.8450	0.8833	0.8945	0.8919	1,623.70	cerrado	2		3600	0.8808	0.9069	0.9234	0.9278	6,759.57			
		4	1800	0.8274	0.8780	0.8843	0.8754	516.29			4	1800	0.8770	0.9011	0.9119	0.9131	1,641.83		4		1800	0.8830	0.9222	0.9314	0.9318	5,632.68			
		6	1200	0.8035	0.8613	0.8741	0.8689	888.81			6	1200	0.8523	0.8933	0.9021	0.8995	2,771.64		6		1200	0.8900	0.9300	0.9363	0.9323	6,445.89			
		8	900	0.7980	0.8630	0.8735	0.8650	1,513.53			8	900	0.8650	0.9036	0.9080	0.8986	3,556.28		8		900	s/d	0.9310	0.9320	0.9240	12,537.20			
	AE	abierto	2	3600	0.8345	0.8980	0.9054	0.8995	523.75		AE	abierto	2	3600	0.8879	0.9316	0.9363	0.9331	1,473.55		AE	abierto	2	3600	0.8957	0.9450	0.9485	0.9475	4,574.54
			4	1800	0.8697	0.9137	0.9162	0.9083	533.10				4	1800	0.9110	0.9484	0.9500	0.9407	1,481.48				4	1800	0.9308	0.9549	0.9550	0.9523	3,553.83
			6	1200	0.8633	0.9130	0.9187	0.9140	920.04				6	1200	0.9083	0.9376	0.9434	0.9401	2,368.84				6	1200	0.9145	0.9480	0.9503	0.9465	5,455.02
			8	900	0.8585	0.9053	0.9113	0.9050	1,223.95				8	900	0.8990	0.9270	0.9294	0.9221	2,957.70				8	900	0.9220	0.9490	0.9240	0.9463	7,262.45
cerrado	2	3600	0.8723	0.9119	0.9177	0.9110	687.38	cerrado	2	3600	0.8854	0.9249	0.9338	0.9321	2,023.95	cerrado	2	3600	0.9060	0.9430	0.9496	0.9494	7,464.76						
	4	1800	0.8758	0.9142	0.9196	0.9092	658.21		4	1800	0.9147	0.9428	0.9462	0.9411	1,911.28		4	1800	0.9271	0.9494	0.9559	0.9545	7,019.23						
	6	1200	0.8634	0.9066	0.9140	0.9094	1,102.71		6	1200	0.9050	0.9380	0.9430	0.9384	3,381.76		6	1200	0.9238	0.9484	0.9538	0.9497	8,424.06						
	8	900	0.8333	0.8989	0.9069	0.9008	1,717.37		8	900	0.8905	0.9273	0.9318	0.9228	4,347.79		8	900	0.9240	0.9478	0.9492	0.9414	11,217.16						
15	STD	abierto	2	3600	0.8605	0.8886	0.8919	0.8726	532.03	50	STD	abierto	2	3600	0.8704	0.8997	0.9122	0.9055	1,441.00	150	STD	abierto	2	3600	0.8943	0.9215	0.9263	0.9213	4,673.50
			4	1800	0.8477	0.8902	0.8943	0.8815	534.83				4	1800	0.8892	0.9116	0.9167	0.9091	1,278.77				4	1800	0.9110	0.9254	0.9343	0.9323	3,604.85
			6	1200	0.7973	0.8643	0.8731	0.8675	810.49				6	1200	0.8833	0.9200	0.9129	0.9133	2,367.43				6	1200	0.9000	0.9295	0.9325	0.9300	5,117.84
			8	900	0.8135	0.8708	0.8764	0.8600	1,314.82				8	900	0.8790	0.9113	0.9113	0.8988	3,055.49				8	900	0.9270	0.9450	0.9420	0.9620	10,900.50
	cerrado	2	3600	0.8219	0.8728	0.8878	0.8770	662.58	cerrado		2	3600	0.8571	0.8892	0.9047	0.9018	2,049.00	cerrado	2		3600	0.8770	0.9103	0.9256	0.9280	8,060.94			
		4	1800	0.8028	0.8713	0.8853	0.8790	746.10			4	1800	0.8853	0.9198	0.9259	0.9208	2,073.40		4		1800	0.8995	0.9295	0.9375	0.9376	6,741.48			
		6	1200	0.7954	0.8578	0.8761	0.8763	1,173.98			6	1200	0.8680	0.9121	0.9178	0.9130	3,240.71		6		1200	0.9080	0.9398	0.9420	0.9343	8,304.62			
		8	900	0.7683	0.8785	0.8815	0.8660	1,851.85			8	900	0.8716	0.9069	0.9121	0.9036	4,414.52		8		900	0.9020	0.9450	0.9420	0.9240	15,356.90			
	AE	abierto	2	3600	0.8754	0.9136	0.9149	0.9049	604.68		AE	abierto	2	3600	0.8982	0.9291	0.9348	0.9326	1,685.74		AE	abierto	2	3600	0.9193	0.9442	0.9474	0.9450	4,843.67
			4	1800	0.8728	0.9261	0.9298	0.9253	763.59				4	1800	0.9133	0.9487	0.9484	0.9409	1,671.03				4	1800	0.9238	0.9532	0.9578	0.9572	5,335.59
			6	1200	0.8634	0.9134	0.9199	0.9186	1,079.71				6	1200	0.9123	0.9399	0.9445	0.9408	2,704.00				6	1200	0.9200	0.9504	0.9534	0.9507	6,087.16
			8	900	0.8665	0.9100	0.9130	0.9050	1,560.87				8	900	0.9080	0.9363	0.9373	0.9274	3,648.04				8	900	0.9185	0.9483	0.9507	0.9480	8,396.31
cerrado	2	3600	0.8691	0.9119	0.9206	0.9159	903.84	cerrado	2	3600	0.9049	0.9349	0.9397	0.9350	2,613.50	cerrado	2	3600	0.9173	0.9470	0.9523	0.9500	8,706.23						
	4	1800	0.8964	0.9236	0.9276	0.9243	865.01		4	1800	0.9275	0.9494	0.9489	0.9430	2,276.15		4	1800	0.9302	0.9500	0.9563	0.9569	8,222.63						
	6	1200	0.8738	0.9155	0.9220	0.9258	1,451.13		6	1200	0.9113	0.9342	0.9428	0.9377	3,823.19		6	1200	0.9310	0.9525	0.9569	0.9551	10,096.97						
	8	900	0.8488	0.9066	0.9102	0.9008	2,130.05		8	900	0.9010	0.9387	0.9410	0.9299	5,430.02		8	900	0.9193	0.9488	0.9502	0.9452	13,502.34						



20	STD	abierto	2	3600	0.8736	0.9002	0.9037	0.8886	560.07	60	STD	abierto	2	3600	0.8856	0.9157	0.9185	0.9084	1,661.08	200	STD	abierto	2	3600	0.8843	0.9244	0.9338	0.9325	6,545.93
			4	1800	0.8339	0.8857	0.8888	0.8789	649.26				4	1800	0.8507	0.9079	0.9156	0.9141	1,790.62				4	1800	0.9106	0.9389	0.9421	0.9351	5,107.57
			6	1200	0.8606	0.8902	0.8945	0.8844	1,004.07				6	1200	0.8820	0.9166	0.9184	0.9108	2,627.38				6	1200	0.9190	0.9280	0.9413	0.9318	7,430.48
			8	900	0.8045	0.8783	0.8883	0.8800	1,542.78				8	900	0.9043	0.9275	0.9277	0.9179	3,689.31				8	900	s/d	0.9363	0.9383	0.9253	8,193.25
		cerrado	2	3600	0.8140	0.8798	0.8934	0.8981	811.25			cerrado	2	3600	0.8697	0.8835	0.8999	0.9035	2,992.55			cerrado	2	3600	0.9113	0.9157	0.9287	0.9308	10,239.75
			4	1800	0.8294	0.8876	0.8970	0.8880	919.57				4	1800	0.8824	0.9175	0.9252	0.9237	2,728.27				4	1800	0.8980	0.9408	0.9473	0.9427	8,708.70
			6	1200	0.8181	0.8849	0.8912	0.8841	1,386.78				6	1200	0.8618	0.9101	0.9174	0.9135	4,008.46				6	1200	0.9251	0.9429	0.9451	0.9357	12,997.18
			8	900	0.8493	0.8830	0.8908	0.8818	2,082.49				8	900	0.8695	0.9148	0.9190	0.9100	4,971.85				8	900	s/d	0.9423	0.9490	0.9420	13,734.72
	AE	abierto	2	3600	0.8754	0.9100	0.9137	0.9004	699.80		abierto	2	3600	0.9113	0.9346	0.9394	0.9376	1,990.71	abierto		2	3600	0.9380	0.9480	0.9533	0.9498	8,135.08		
			4	1800	0.8926	0.9295	0.9314	0.9216	825.67			4	1800	0.9125	0.9469	0.9499	0.9485	2,012.35			4	1800	0.9313	0.9591	0.9630	0.9588	6,695.58		
			6	1200	0.8827	0.9239	0.9272	0.9202	1,330.42			6	1200	0.9110	0.9459	0.9495	0.9466	3,365.62			6	1200	0.9330	0.9548	0.9604	0.9510	7,700.55		
			8	900	0.8870	0.9210	0.9230	0.9144	1,858.19			8	900	0.9140	0.9428	0.9440	0.9362	4,338.62			8	900	s/d	0.9578	0.9573	0.9503	9,718.71		
		cerrado	2	3600	0.8898	0.9208	0.9277	0.9195	1,134.27		cerrado	2	3600	0.8977	0.9311	0.9412	0.9395	3,424.97	cerrado		2	3600	0.9178	0.9438	0.9518	0.9527	10,994.88		
			4	1800	0.8964	0.9301	0.9341	0.9280	1,045.60			4	1800	0.9224	0.9470	0.9511	0.9463	3,295.43			4	1800	0.9407	0.9553	0.9591	0.9586	10,410.64		
			6	1200	0.8857	0.9242	0.9269	0.9178	1,733.34			6	1200	0.9044	0.9410	0.9467	0.9434	4,521.67			6	1200	0.9350	0.9548	0.9579	0.9545	13,542.37		
			8	900	0.8800	0.9164	0.9201	0.9088	2,652.33			8	900	0.9005	0.9365	0.9375	0.9264	5,947.62			8	900	0.9250	0.9514	0.9541	0.9483	14,367.86		

Anexo 10: Tablas de eficiencia de motores estándar y de alta eficiencia.

Fuente: FIDE (2002). Procedimiento de evaluación para la sustitución de motores eléctricos de eficiencia estándar por motores de alta eficiencia.