



Extracción del aceite de palmiste como materia prima para el biodiesel en la industria petrolera

Extraction of palm kernel oil as a raw material for biodiesel in the oil industry

Extração de óleo de palmiste como matéria-prima para biodiesel na indústria do petróleo

Violeta Elizabeth Reyes-Bone ^I

violetaelizabethreyesbone@yahoo.com

<https://orcid.org/0000-0003-2675-9288>

Correspondencia: violetaelizabethreyesbone@yahoo.com

Ciencias técnicas y aplicadas

Artículo de investigación

***Recibido:** 30 de julio de 2020 ***Aceptado:** 21 de agosto de 2020 *** Publicado:** 28 de agosto de 2020

- I. Ingeniero Mecánico, Docente Investigador de la Facultad de Ingenierías en la Universidad Técnica “Luis Vargas Torres” de Esmeraldas, Ecuador.

Resumen

El objetivo de este artículo es describir los procesos de extracción del aceite de palmiste, el cual se suscita por extracción de solventes y extracción por presión mecánica. El aceite de palmiste se usa en combinación con el aceite de palma fraccionado con otros aceites para la obtención de oleínas y estearinas, asimismo, este aceite contiene ácidos grasos, monos insaturados y poli-insaturados. La extracción del aceite de palmiste es muy importante ya que es se utiliza como materia prima para la producción de biodiesel, el cual es un biocombustible. A su vez es empleado en producción de piensos para la alimentación animal, gracias a su alto contenido energético por ración. En la industria cosmética su uso es amplio, para la elaboración de geles de baño, labiales, champús, jabones, dentífricos, cremas, entre otros. Y no menos importante su uso culinario muy conocido. Entre las conclusiones destaca que es importante resaltar que, para obtener una excelente eficiencia en el proceso de extracción del aceite de palmiste se debe contemplar que la materia prima debe ser de calidad, es decir, que debe cumplir los requisitos mínimos exigidos por las normas actualizadas que lo rigen; y a su vez el manejo y el almacenamiento del palmiste en despensa no se debe hacer en columnas muy altas para evitar pérdidas de aceite por exudación.

Palabras clave: Extracción, aceite palmiste, biocombustible, mecanización, industria petrolera

Abstract

The objective of this article is to describe the extraction processes of palm kernel oil, which is produced by solvent extraction and extraction by mechanical pressure. Palm kernel oil is used in combination with fractionated palm oil with other oils to obtain oleins and stearins, also, this oil contains fatty acids, unsaturated and polyunsaturated monkeys. The extraction of palm kernel oil is very important since it is used as a raw material for the production of biodiesel, which is a biofuel. At the same time, it is used in the production of feed for animal feed, thanks to its high energy content per serving. In the cosmetic industry its use is wide, for the production of bath gels, lipsticks, shampoos, soaps, toothpastes, creams, among others. And not least its well-known culinary use. Among the conclusions, it is important to highlight that, in order to obtain excellent efficiency in the palm kernel oil extraction process, it must be considered that the raw material must be of quality, that is, that it must meet the minimum requirements demanded by the updated

standards. that govern it; and at the same time the handling and storage of palm kernels in the pantry should not be done in very tall columns to avoid oil losses due to exudation.

Keywords: Extraction, palm kernel oil, biofuel, mechanization, oil industry

Resumo

O objetivo deste artigo é descrever os processos de extração do óleo de palmiste, que é produzido por extração por solvente e extração por pressão mecânica. O óleo de palmiste é usado em combinação com óleo de palma fracionado com outros óleos para obter oleínas e estearinas, além disso, este óleo contém ácidos graxos, macacos insaturados e poliinsaturados. A extração do óleo de palmiste é muito importante, pois é utilizado como matéria-prima para a produção do biodiesel, que é um biocombustível. Ao mesmo tempo, é utilizado na produção de rações para ração animal, graças ao seu alto teor de energia por porção. Na indústria cosmética sua utilização é ampla, para a produção de géis de banho, batons, xampus, sabonetes, dentifrícios, cremes, entre outros. E não menos importante, seu conhecido uso culinário. Dentre as conclusões, é importante destacar que, para se obter excelente eficiência no processo de extração do óleo de palmiste, deve-se considerar que a matéria-prima deve ser de qualidade, ou seja, atender aos requisitos mínimos exigidos pelas normas atualizadas. que o governam; e ao mesmo tempo o manuseio e armazenamento dos grãos de palma na despensa não devem ser feitos em colunas muito altas para evitar perdas de óleo devido à exsudação.

Palavras-chave: Extração, óleo de palmiste, biocombustível, mecanização, indústria de petróleo

Introducción

El aceite de palmiste es un aceite de origen vegetal, extraído por el prensado mecánico de la almendra del fruto de la palma africana de aceite. Su origen se ubica en las costas del Golfo de Guinea en África Occidental. Se introdujo a América en el siglo XVI, en los viajes transatlánticos realizados por los colonizadores y comerciantes de esclavos portugueses, siendo actualmente los mayores productores Ecuador y Colombia. La palma de aceite se conoce en la botánica con el nombre de *Elaeis guineensis*, designación dada por Jacquin en el año de 1763, elaoín palabra proveniente del antiguo griego que significa aceite y guineensis haciéndole honor a la región de Guinea de donde es originaria.

Después del aceite de soja, es el segundo tipo de aceite con mayor producción. Como características principales, el aceite de palmiste es muy semejante al aceite de coco en lo que se refiere a su composición de ácidos grasos y propiedades; además este aceite se mantiene en estado semisólido en climas templados, del resto es una grasa en forma líquida. De acuerdo a Carrasco (1995), el aceite de palmiste se usa en combinación con el aceite de palma fraccionado con otros aceites para la obtención de oleínas y estearinas, asimismo este aceite contiene ácidos grasos, monos insaturados y poli-insaturados.

Como materia prima, entre los principales usos y aplicaciones del aceite de palmiste es en la fabricación de cosméticos, jabones, dentífricos, productos de limpieza y en la industria oleoquímica en general. En lo culinario es usado en la preparación de margarinas, helados, confites cremas, natillas, entre otros. También, es empleado como aceite de sofreír o aliñar alimentos. Por otro lado, es sustituto del aceite de coco, por la similitud entre la composición de ácidos grasos entre estos dos aceites, así lo argumentan Pantzaris y Jaaffar (2002). De allí que, se plantee como objetivo de artículo describir los procesos de extracción del aceite de palmiste, el cual se suscita por extracción de solventes y extracción por presión mecánica.

Desarrollo

La extracción del aceite de palmiste es muy importante ya que es se utiliza como materia prima para la producción de biodiesel, el cual es un biocombustible. A su vez es empleado en producción de piensos para la alimentación animal, gracias a su alto contenido energético por ración. En la industria cosmética su uso es amplio, para la elaboración de geles de baño. Labiales, champús, jabones, dentífricos, cremas, entre otros. Y no menos importante su uso culinario muy conocido.

Procesos de extracción del aceite de palmiste

Los procesos de extracción de aceite de palmiste recomendados son dos sistemas los cuales se nombran a continuación:

1. Extracción por solventes, precedida de limpieza y preparación del palmiste.
2. Extracción por presión mecánica en una etapa tanto en frío como acondicionado.

De acuerdo a Carrasco (1995), expresa que en una planta de extracción por solventes para palmiste son necesarios varios equipos y procesos: báscula reguladora, limpieza de almendras, preparación de las almendras, captación de vahos, extractor, desolventización, tostado, secado y enfriado de la torta, destilación de la miscela, acabado y secado del aceite, recuperación del disolvente y por último almacenamiento del disolvente.

Este proceso esta estandarizado, es el que se usa para la preparación del producto que contiene el aceite previo a la extracción con solventes y se describe a continuación:

Limpieza y secado de la materia prima: la almendra llega a la planta, deben limpiarla de cualquier cuerpo extraño que pueda contener. Luego de la limpieza de las semillas hay que realizarle el proceso de secado (extraer la humedad de la materia prima), esto se debe hacer con un controlado y equilibrado procedimiento de secado. Para lograr un control de calidad efectivo, se exige que la materia prima en la entrada del proceso cumpla con los siguientes valores: suciedad máxima 2%, humedad 7% y contenido en aceite aproximado de 50%.

Preparación mecánica: luego de limpia la almendra, cae por gravedad a un molino de martillos, compuesta por rodillos de cilindros acanalados donde el palmiste se debe de romper para reducir el tamaño de las partículas y asegurar una cocción y hojuelas adecuadas. Luego, deben ser calentados en equipos apropiados, controlando su humedad. Después del cocido, los granos molidos son aplastados en hojuelas para romper las células de aceite. El aceite de palmiste posee un alto contenido en ácidos grasos libres, potenciado por el procesamiento del fruto.

Sección de extracción: Las hojuelas ingresan al extractor por una tolva de alimentación, comienzan a circular por una cinta transportadora inclinada para optimizar la permeabilidad. El material es rociado por los distribuidores de miscela (aceite más hexano) que la distribuyen uniformemente. Luego de la percolación a través de la capa, la miscela enriquecida se acopia en tolvas bajo la cinta y es remitida al rociador sobre la tolva, en el procedimiento hay un rastrillo que cepilla la capa superior del material, lo cual mejora la permeabilidad e impide la circulación superficial del solvente.

Sección de desolventizado, tostado, secado y enfriado de la torta: la torta extraída retiene disolvente, el cual debe ser retirado, y por ello debe transportarse al desolventizador-tostador-secador-enfriador llamado también DTSC, ahí se produce el desolventizado y tostado, el penúltimo de secado y el último de enfriamiento.

Sección de destilación de la miscela, acabado y secado del aceite: en relación a la miscela, se usa vacío y baja temperatura de operación en todas las etapas de destilación, con la finalidad de adquirir un aceite crudo de calidad.

Recuperación de disolvente: el aire que entra internamente en los poros del material, en el extractor, debe ser eliminado; pero al hacer esto retendrá cierta cantidad de hexano. Para lograr recuperar este hexano, primero se enfría el aire con agua y luego se pone en contacto con aceite mineral o vegetal que absorberá el hexano. Después, el aceite se calienta y el hexano se destila.

El segundo proceso de extracción de aceite de palmiste es el de Extracción por presión mecánica en una etapa tanto en frío como acondicionado de acuerdo a Carrasco (1995), es el siguiente:

Este proceso de extracción se realiza en una sola etapa utilizando la prensa Rosedowns, es un sistema muy sencillo, en el cual el palmiste es prensado en frío. La idea de hacer este procedimiento es rebajar substancialmente los costos de mantenimiento y a su vez ejecutar una extracción mucho más efectiva.

La almendra se recibe entera y limpia, con una humedad del 6 al 7%. El palmiste entero atraviesa un imán permanente que evitará la entrada al proceso de partículas metálicas. Posteriormente la almendra se dirige hacia un molino de martillos del tipo brazo giratorio. En el sistema que se está empleando que es el Rosedowns es mejor utilizar este tipo de molino. Aunque los especialistas explican que el molino de rodillos es tres veces más eficiente.

Luego sale la almendra triturada del molino, transfiriéndose a una criba vibratoria que separa los trozos grandes de los pequeños, permitiendo que los pedazos chicos continúen el proceso. Es importante realizar estos pasos de esta manera ya que alcanza el aumento de la densidad de la mezcla y el incremento de la capacidad de la prensa. Antes de llegar a la prensa, existe un segundo imán. La alimentación del palmiste triturado a la prensa se realiza por medio de un transportador de velocidad variable, controlada por el microprocesador instalado en el tablero de control.

Los parámetros de trabajo del motor principal de la prensa de tornillo se predeterminan, siendo constantemente controlados por el microprocesador, es decir, al reducirse con rapidez el volumen del palmiste en la prensa, se adquiere un rendimiento alto de aceite y el mínimo desgaste del barril de la prensa y los gusanos. Para la salida de la prensa, un elevador oblicuo traslada la torta hasta el punto de empacado, siendo el aceite y los sólidos en suspensión enviados a un transportador de banda sinfín filtrante de aceite, que es la forma más eficiente y económica de

separar los sólidos del aceite extraído. Los sólidos del aceite se reciclan al transportador de semilla quebrada y el éste es bombeado a un tanque con agitación.

Por consiguiente, el aceite se clarifica con un filtro a presión, de hojas verticales, y se envía a un tanque de aceite crudo filtrado, y la torta del filtro va al nuevo material de entrada. Para el caso de plantas de gran capacidad se han de complementar con un acondicionador y laminador de 5 rodillos. El laminador es ampliamente utilizado en semillas de palmiste, es decir, semillas duras que se rompen completamente las fibras para permitir un prensado más suave. Su instalación disminuye el aceite residual en la torta y alarga la vida del tornillo de la prensa.

Para finalizar el proceso, a la salida del laminador, las hojuelas son enviadas al acondicionador, el cual ejerce efectos sobre la molienda laminada como la ruptura de las células grasas por aumento de la temperatura atrapada en las mismas; la reducción de las viscosidad del aceite, haciéndolo más fluido y fácil de tratar; el control de la humedad del material para obtener las óptimas condiciones a la entrada de la prensa, siendo esta entorno al 3%, la óptima para efectos de extracción en prensas de tornillo.

Estos procesos poseen ciertas ventajas, para la extracción por solventes representa por una parte mayor rendimiento y por otro un significativo aprovechamiento energético y con respecto al proceso de la extracción mecánica, se produce menor inversión inicial que con solventes y la instalación del equipo es más sencilla. Así que cada uno tiene ventajas que se deben de considerar de acuerdo a las condiciones de la empresa que ejecuta la extracción de aceite de palmiste.

En relación al método de almacenamiento del palmiste, si no se realiza bien se puede ver afectado el contenido de aceite. El método frecuente de empacarlo es en costales o bolsas de poliéster, las cuales se almacenan en una bodega, antes de despacharlas. Tang Thin Sue (1992) argumenta que “el almacenamiento no se debe prolongar más de lo necesario. Para el despacho de palmiste se debe emplear el principio FIFO ("primero en entrar primero en salir")”. Explica a su vez que una vez que los silos deben evacuarse regularmente, con el objeto de eliminar el palmiste endurecido como consecuencia de la compresión periférica en la base de los silos.

Equipos para la extracción de aceite de palmiste

Para la extracción del aceite vegetal de palmiste es necesario el uso de una prensa de tornillo. El tornillo extrusor es mejor conocido como caracol, es un tornillo que trabaja en una prensa

mecánica su funcionamiento es el de romper la nuez de la palma una vez separada del racimo. La extrusión es un proceso utilizado a escala mundial para procesar productos como pastas alimenticias.

Existen dos opciones de construir este caracol: por medio de la fundición (hierro fundido) y por construcción mecánica (acero al carbono).

El procedimiento de la construcción el caracol de hierro fundido, es a través de la fundición. El hierro fundido es una aleación de hierro y carbono, pero a diferencia del acero tiene del 2% al 6% de carbón, además contiene silicio, manganeso, azufre y fósforo. Por la cual el material se convierte en muy frágil. Los fabricantes de estos tornillos los fabrican en fundición por la economía que ella genera, además de recubrir el tornillo con aditamentos especiales como lo es un recargue Duro.

El recargue duro es un proceso mediante el cual se deposita una soldadura, una aleación resistente al deterioro sobre una parte metálica para establecer una superficie protectora que resista a los desgastes por abrasión, impacto, temperatura, corrosión o una combinación de estos elementos, es decir, es un antiabrasivo. En Ecuador, Aceros Böhler, voestalpine high performance metals son los representantes de ésta marca líder a nivel mundial en soldadura UTP Böhler Welding by voestalpine, soldadura de reparación y mantenimiento. Böhler desarrolla, produce y vende aceros a nivel mundial. Es una empresa líder internacional en aceros para herramientas, aceros rápidos y aceros especiales, impulsando el desarrollo de nuevos productos e innovaciones en el sector de la metalurgia. Actualmente han desarrollado más de 200 tipos de acero y patentes: aceros convencionales, refundidos por electroescoria, pulvimetalúrgicos de tercera generación y aceros atomizados en polvo para fabricación aditiva.

En la línea de reparación se dispone de electrodos para recargue duro, en una amplia gama. Dentro de la línea de recargues Duros, se encuentran los más comunes de acuerdo a Böhler (2019):

El UTP DUR 600 es un electrodo básico para revestimientos duros resistentes a la presión, impacto y abrasión, para piezas de acero, acero fundido y aceros al manganeso expuestos a esfuerzos simultáneos de desgaste por impacto, abrasión y compresión. Su rendimiento es de 130 % y la dureza de aproximadamente 55 a 58 HRC. Al momento de soldar materiales sensibles al agrietamiento “Fundiciones” se recomienda precalentar el material base a 250°C. Al momento de

soldar aceros al manganeso “Aceros para cementación, Laminas anti abrasivas” se recomienda utilizar un electrodo de colchón y el material base no debe tener más de 40°C.

El UTP LEDURIT 65, es un adecuado electrodo para revestimiento duro resistente a una extrema abrasión y alta temperatura, especial para revestimientos sobre partes sujetas a una fuerte abrasión ocasionada por la fricción con minerales, hasta temperaturas de 500 °C. La alta resistencia al desgaste se alcanza por el reforzamiento de carburos especiales (Mo, V, W, Nb) y muy alta resistencia a la abrasión, su rendimiento es de 200% y su dureza de aproximadamente de 63 HRC. Siendo utilizado en maquinaria para la construcción, trituradoras, molinos, mezcladoras, gusanos transportadores. Dando como resultado comprobado que la dureza aproximada ya depositado el material es de 63HRC. Al momento de soldar se recomienda utilizar UTP630 como colchón base para así evitar los desprendimientos del recargue por falta de amortiguamiento y agrietamiento por su alta dureza alcanzada.

El modelo UTP 710 es un electrodo básico para revestimientos resistentes a la fuerte abrasión con moderada resistencia al impacto, es de alto rendimiento, desarrollado con base de carburos de cromo. Se utiliza donde hay fuertes desgaste por abrasión, presentando resistencia moderada a la presión y al impacto causado por carbón, arena, grava, entre otras. Su rendimiento es del 140% y su dureza es aproximada de 63 HRC. Al momento de soldar materiales sensibles al agrietamiento “Fundiciones” se recomienda martillar los cordones inmediatamente después de haberlos depositado sobre el colchón base. Al momento de soldar aceros de dureza mediana “Aceros 1045, 1018” se recomienda utilizarlo directamente sobre el metal base. Cuando se suelda aceros de alto carbono y duros como los aleados al manganeso, es de suma importancia aplicar un colchón base como un UTP 62 ya que este electrodo posee características de resistir alta tracción de 450MPa a 700Mpa.

El UTP LEDURIT 61 es un electrodo básico para revestimientos resistentes a la abrasión con mediana resistencia al impacto. Además, es adecuado para revestimientos sobre partes sujetas a una fuerte abrasión combinada con un medio de impacto, tales como álabes, dientes de excavadoras, alas de mezclado y bombas de arena. También se usa como capa final sobre quebradoras de quijadas. Su rendimiento es del 140% y su dureza aproximada de 60 HRC.

Construcción mecánica de un tornillo extrusor

Para realizar la construcción mecánica de un tornillo extrusor denominado también caracol se debe seleccionar el acero adecuado, que posea las siguientes características: Alta resistencia a la tracción, alto límite elástico, facilidad de maquinabilidad, alta capacidad de soldabilidad, propiedades mecánicas consistentes. Teniendo como resultado dos opciones recomendables, Acero V945, Acero Perforado V720.

El Acero V945/AISI1045/DIN C45 es acero al carbono medio, de alta calidad con alta resistencia. También se le puede llamar acero JIS S45C y DIN C45. Por lo habitual, se usa en condiciones normalizadas debido a su mala templabilidad. Debe ser un tratamiento de temple y revenido para obtener un mayor rendimiento mecánico. Se utiliza para fabricar piezas de máquinas con requisitos de alta resistencia. También es conocido como un acero de construcción para maquinaria, apto donde sean necesarias altas exigencias de resistencia a la torsión y tenacidad.

Ideal para fabricación de maquinaria de trabajo pesado, cigüeñales, rotores, volantes de transmisión, tornillos, entre otros.

El Acero V720 Barra perforada/DIN 20MnV es conocido como un acero de construcción para maquinaria, con una resistencia mayor a los aceros convencionales de acero de bajo carbono además se lo puede bonificar y cementar, posee una excelente maquinabilidad y soldabilidad. Su uso más común es en la industria petrolera, ya que tiene la capacidad de poseer una alta dureza superficial y un núcleo tenaz, aplicado en rodillos, accesorios de perforación petrolera, bujes, ejes, tornillos.

El proceso de construcción mecánica de un tornillo extrusor comienza en la excelente selección del material, como precedente de los dos materiales más aptos para esta construcción, son el V945/AISI1045/C45 ó la V720 Barra perforada/DIN 20MnV. El diámetro del eje depende de la capacidad de la prensa, pueden ser 10TON/h, 15TON/h, 20TON/h. Luego de seleccionado el material, sea el V945/AISI 1045/C45 ó la V720 Barra perforada/DIN 20MnV. Se procede al mecanizado, el cual se lo debe realizar con alta refrigeración, para así evitar la acumulación excesiva de tensiones sobre el material base.

Para la conformación de las espiras, estas de igual forma se toma en cuenta la capacidad de la prensa mecánica, y se debe colocar o construir dependiendo la presión que se vaya a ejercer, siendo estandarizado en el mercado. Éstas pueden ser de dos vueltas por espira como vuelta y media por espira, de igual manera de dos a tres espiras a lo largo de todo el tornillo. Estas espiras

pueden ser tanto conformadas solo con electrodo, como pueden ser de acero V945/AISI1045/C45 en presentación de eje cuadrado. Siendo cubierta toda la espira con electrodo de colchón base UTP62, UTP65 o UTP 630. Ya cubierta toda la espira con electrodo de colchón base UTP62, UTP65 o UTP 630, se procede a realizar el mismo proceso con todo el cuerpo del tornillo, para a continuación realizar el recargue duro sobre toda la superficie. Este proceso conlleva a varias horas de trabajo en rectificado y soldado, para llegar a la conclusión de que es un resultado excelente en acabados y durabilidad.

El tornillo extrusor va a estar sometido a varias horas de trabajo con altas temperaturas relativamente del aceite de palmiste, para lo cual el desgaste del mismo va a ser normal. Tienen estos un promedio de vida de 450 a 500 horas de trabajo en una jornada de 24 horas del día, los 7 días de la semana. Una vez cumplidas las horas de trabajo mencionadas, se debe realizar el proceso hasta 20 veces a raíz de su origen, ya que la fatiga del material al último recargue es demasiada elevada en el eje, para lo cual se debe reemplazar.

Conclusiones

Es importante resaltar que para obtener una excelente eficiencia en el proceso de extracción del aceite de palmiste se debe contemplar que la materia prima debe ser de calidad, es decir, que debe cumplir los requisitos mínimos exigidos por las normas actualizadas que lo rigen; y a su vez el manejo y el almacenamiento del palmiste en despensa no se debe hacer en columnas muy altas para evitar pérdidas de aceite por exudación.

Los sistemas de extrusión cumplen un papel esencial en el éxito de plantas de procesamiento de alimentos, en especial para la extracción de aceite de palmiste, todo el sistema diseñado para fabricar productos de alta calidad, sabor constante, rentables e inocuos.

Para garantizar la calidad de los productos de electrodos que cumplan con los altos estándares tecnológicos, los productos se adaptan a los requisitos de acuerdo a las normas vigentes a nivel internacional para que se cumpla la optimización de los materiales. La empresa de producción de los tornillos extrusores ha revolucionado la fabricación de acero a través de innovaciones constantes en los sistemas de manufactura lo cual permite ofrecer aceros con los mejores valores de resistencia a la corrosión y mayores niveles de pureza según la aplicación.

El objetivo fundamental de un tornillo de extrusión (caracol) es suministrar una excelente calidad, una masa fundida homogénea y una temperatura y productividad constantes. Los tornillos deben de tener un buen diseño apto para producir un resultado favorable en el proceso de la extracción del aceite de palmiste.

Referencias

1. Pantzaris, T y Jaaffar, M. (2002). Propiedades y usos del aceite de palmiste. Palmas Vol. 23 No. 3, 2002. Documento en línea. Disponible en: <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/925/925>
2. Carrasco, J. (1995). Extracción de aceite de palmiste: procesos. Revista Palmas. Vol. 16 Núm. Especial. Documento en línea. Disponible en: <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/505/505>
3. UTP (2019). Manual de electrodos revestidos. Böhler Thyssen Soldaduras S.A. Documento en línea. Disponible en: <https://www.acerosbohler.com/es/>
4. Tang Thin Sue (1992). Calidad actual del palmiste y del aceite de palmiste. Revista Palmas, Volumen 13 No. 4. Documento en línea. Disponible en: <http://www.angelfire.com/co4/franciscodelgado/calidadpalmiste.pdf>
5. Voestalpine (2019). Electrodo para soldar recubrimientos duros.
6. voestalpine High Performance Metals del Perú S.A. Documento en línea. Disponible en: <https://www.voestalpine.com/highperformancemetals/peru/es/home/productos-marcas/soldaduras-especiales/electrodos-para-soldar-recubrimientos-duros/>