



Desarrollo de una técnica estandarizada de lavado en seco y acabado de prendas textiles en fibras de alpaca, algodón, lino y seda mediante el uso de insumos ecológicos

Development of a standardized technique for dry cleaning and finishing of textile garments in alpaca, cotton, linen and silk fibers through the use of ecological supplies

Elena R. Ramirez Arenas, Alejandro N. Zegarra Balboa, José. A. Aguilar Franco

Instituto de Ingeniería Energía y Medio Ambiente, Ingeniería Industrial. Universidad Católica San Pablo.
Arequipa, Perú

*elena.ramirez@ucsp.edu.pe

(recibido/received: 17-agosto-2023; aceptado/accepted: 01-noviembre-2023)

RESUMEN

Se desarrolló una técnica estandarizada de lavado en seco y acabado de prendas textiles en fibras de alpaca, algodón, lino y seda. Esta técnica emplea insumos ecológicos y se basa en un proceso de tres unidades: unidad de adecuación de prendas textiles para clasificar y preparar prendas textiles según el color, tipo de fibra textil y tipo de tejido; unidad de lavado textil eliminando ceras, grasas, parafinas y otras materias presentes y; unidad de acabado textil mejorando la apariencia de prendas textiles y cumpliendo con parámetros de calidad como solidez al lavado, parámetros organolépticos, solidez del color a la luz, solidez al frote, apariencia después del lavado en seco y estabilidad dimensional. Se utilizó un solvente ecológico (DF-2000) y prendas textiles en fibras de alpaca, algodón, lino y seda y sus combinaciones. Se analizaron parámetros como temperatura, insumos, tiempo, velocidad del tambor y relación de baño para cada tipo de fibra y combinaciones. Los resultados preliminares indican que la técnica en las fibras estudiadas tiene resultados eficientes en los parámetros de calidad valorados por los clientes, reduce impacto ambiental, promueve prácticas de lavado más sostenibles, reduce reprocesos y costos operativos, uso eficiente de insumos y recursos permitiendo una gestión de compra de insumos más precisa.

Palabras claves: Lavado en seco; técnica estandarizada; acabado textil; fibra textil de alpaca, algodón, lino y seda.

ABSTRACT

A standardized technique for dry cleaning and finishing textile garments in alpaca, cotton, linen and silk fibers was developed. This technique uses ecological inputs and is based on a three-unit process: a unit for adequacy of textile garments to classify and prepare textile garments according to colour, type of garment and degree of impregnated fats; textile washing unit eliminated waxes, fats, paraffins and other materials present and; textile finishing unit, improving the appearance of textile garments and complying with quality parameters such as pilling level, organoleptic parameters, color fastness to light and dimensional stability. An ecological solvent (DF-2000) and textile garments in alpaca, cotton, linen and silk fibers and their combinations were used. Parameters such as temperature, inputs, time, drum speed and bath ratio were

analyzed for each type of fiber and combinations. Preliminary results indicate that the technique on the fibers studied has efficient results in the quality parameters valued by customers, reduces environmental impact, promotes more sustainable washing practices, reduces reprocessing and operating costs, efficient use of inputs and resources, allowing efficient management. purchase of inputs more accurate.

Keywords: Dry cleaning; standardized technique; textile finishing; textile fiber of alpaca, cotton, linen and silk.

1. INTRODUCCIÓN

Hoy en día, muchas empresas tradicionales están desarrollando sus modelos comerciales para aumentar la sostenibilidad, por ejemplo, mejorando la utilización de los recursos, extendiendo la vida útil del producto y eliminando el desperdicio (Laukkanen & Tura, 2022). La sostenibilidad y la química verde son dos conceptos diferentes, sin embargo; el primero es un concepto más a largo plazo, orientado a los recursos, y el segundo se enfoca en procesos químicos que conducen a productos intermedios y que son seguros (o más seguros) desde una perspectiva de salud humana y ecológica (Quante, 2016). A medida que los gobiernos y la industria prestan cada vez más atención a la economía circular ya la sostenibilidad, se vuelve esencial que las empresas innoven en sus modelos de negocio para la circularidad y/o la sostenibilidad. Esto se convierte en un factor crucial para preservar la ventaja competitiva de las compañías. (Pieroni et al., 2019). En el ámbito del sector de las lavanderías industriales; los efectos principales en el medio ambiente ocasionados en el tratamiento textil incluyen el uso considerable de agua y la generación de aguas residuales altamente contaminadas durante sus variados procedimientos (Brañez et al., 2018). El cálculo exacto del uso del agua en los próximos años es incierto, muchos autores coinciden en que la mayor demanda se verá generada por el crecimiento continuo de los sectores industrial y energético, proyectando en los próximos años un déficit de este recurso (UNESCO, 2021). En este sentido, se han rediseñado muchos procesos para usar menos agua; entre ellos menciona que ciertos acabados pueden requerir que las prendas textiles se laven "en seco únicamente" lo que utiliza solventes de limpieza con químicos tóxicos de cloro, refiriéndose claramente al solvente clorado tóxico y carcinogénico comúnmente utilizado: percloroetileno (Khan & Islam, 2015). Las personas desconocen el peligro que tienen los solventes clorados usados en el lavado en seco Jicha et al. (2019) generando la necesidad de diseñar una alternativa de lavado de prendas textiles que sea más amigable con el medio ambiente y sostenible.

En este contexto, la presente investigación busca diseñar y desarrollar una técnica estandarizada de lavado en seco y acabado de prendas textiles en fibras de alpaca, algodón, lino y seda mediante el uso de insumos ecológicos; atractiva para empresas que brindan servicios de lavandería y tintorería, especialmente por sus beneficios como la mitigación de los impactos ambientales, cuidado de la salud de las personas, reducción de costos operativos y tiene resultados eficaces en los parámetros de calidad valorados por los clientes. El desarrollo de una técnica ecológica de lavado en seco para prendas textiles es viable y se sostiene con la investigación llevada a cabo por (Zegarra, 2014) quien desarrolló una técnica de lavado en seco ecológica para prendas textiles de fibra de alpaca, reemplazando el lavado en seco tradicional por un lavado ecológico que mantuvo el alto nivel de calidad como: nivel de pilling, cambio dimensional, apariencia, entre otros; certificado por diversos laboratorios peruanos. (Said et al., 2022) afirma que se vienen implementando procedimientos de acabado ecológico que ofrecen un método eficaz para lograr los efectos de estilo buscados y a su vez abordar diversos problemas ligados a la contaminación y al tratamiento de aguas residuales. No obstante, es esencial llevar a cabo pruebas de supervisión posteriores a los tratamientos de acabado, con el propósito de evaluar las características globales de los tejidos y así cumplir con las expectativas de los compradores. Entre las pruebas de calidad se tiene la prueba de solidez del color al lavado; (Zhao et al., 2022) debido a los defectos del propio tinte y al inadecuado proceso post-tratamiento de teñido y acabado, se acumula el color flotante en la superficie del tejido, lo que conduce a una baja solidez del color al lavado; destacando la importancia de la estandarización en el proceso de post-tratamiento

para la eliminación de errores. (Wei et al., 2022) el diseño y desarrollo de un método de lavado y cuidado textil, respetuoso con el medio ambiente y que tome en cuenta el tipo de fibra textil, permite no solo comprender el mecanismo de degradación del rendimiento de las fibras textiles en el proceso de lavado, sino también a mejorar la eficiencia de lavado y a reducir el daño en la tela.

Basándose en lo mencionado anteriormente, esta investigación expone una problemática actual generada por el sector de lavanderías industriales como uso de grandes cantidades de agua dulce, generación de efluentes contaminantes y la utilización del solvente clorado carcinogénico. Se destaca la importancia de adoptar un método de limpieza ecoamigable para preservar la ventaja competitiva de las lavanderías en el mercado actual y a su vez se mantenga la calidad de las prendas textiles.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Materiales

Se tuvieron cinco grupos de paños-parte de prenda textil y una chompa, presentados en la Tabla 1, todos con grasas, impurezas y manchas en diferentes composiciones de fibras de alpaca, algodón, lino, seda; en diversos colores, grosor y punto de tejido, proporcionadas por la empresa Reactivos Jeans Arequipa-Perú. Las prendas textiles en estas fibras representan el mayor porcentaje de ventas de la empresa y poseen un precio elevado en el mercado debido a su origen natural, calidad y características propias de cada una. El solvente ecológico a base de hidrocarburos: DF-2000 fue empleado en la unidad de lavado; asimismo se proporcionaron suavizantes y un desmanchador, ambos compatibles con el solvente.

Tabla 1 Lista de componentes textiles de prueba

Prueba	Cantidad	Color	Tipo de fibra textil
01	2	Azul	Baby alpaca al 70%
02	2	Azul	Baby alpaca al 70%
03	3	Rosado	Baby lino
04	2	Morado	Baby seda
05	2	Azul acero	100% Baby alpaca
06	1	Marrón	100% Baby alpaca

Fuente: Registros internos Reactivos Jeans

2.2 Metodología

Se empleó una metodología experimental cuyo objetivo es el diseño y desarrollo de una técnica de lavado en seco ecológico y acabado de prendas textiles en fibras de alpaca, algodón, lino y seda.

Preparación de prendas textiles: Previamente al lavado, las prendas textiles deben prepararse tomando en cuenta ciertos parámetros de control. Inicialmente se seleccionaron y separaron de modo que todas las prendas textiles en un grupo tengan el mismo color, tipo de fibra textil y tipo de tejido; posteriormente se procedió a vaporizar los componentes, cuyo objetivo es estabilizar la posición de las fibras mediante la aplicación de vapor y calor con la mesa vaporizadora y plancha manual. El procedimiento de termo fijado fue el mismo para los 06 grupos de componentes textiles, en donde se controlaron los parámetros: tiempo y temperatura de la mesa vaporizadora y temperatura de la plancha manual vaporizadora. Se tomaron muestras textiles que pertenezcan al mismo grupo; después de encender la mesa vaporizadora se esperó 2 minutos hasta que alcance la temperatura ideal mientras se colocaron los componentes extendidos sobre la mesa vaporizadora que cuenta con una cubierta de lona haciendo que el vapor se distribuya de manera homogénea. Se suministró vapor a los componentes textiles por un tiempo de 30 segundos a cada uno considerando que el vapor no debe condensarse, a una temperatura de 135°C. Culminando este proceso, se plancharon y vaporizaron los componentes utilizando una base de teflón en la plancha manual para evitar el brillo durante 1 minuto y medio a la misma temperatura entre 135°C y 140°C.

Lavado de prendas textiles: Las pruebas de lavado se llevaron a cabo en la máquina lavadora multisolvente de marca Fimbimatic modelo F15 AS (Figura 1). Tiene una capacidad máxima de 15 kg y su objetivo es desprender la suciedad, manchas, olores, etc. de las prendas textiles; puede trabajar con diferentes alternativas de solvente. En este caso se utiliza un solvente ecológico: DF-2000.

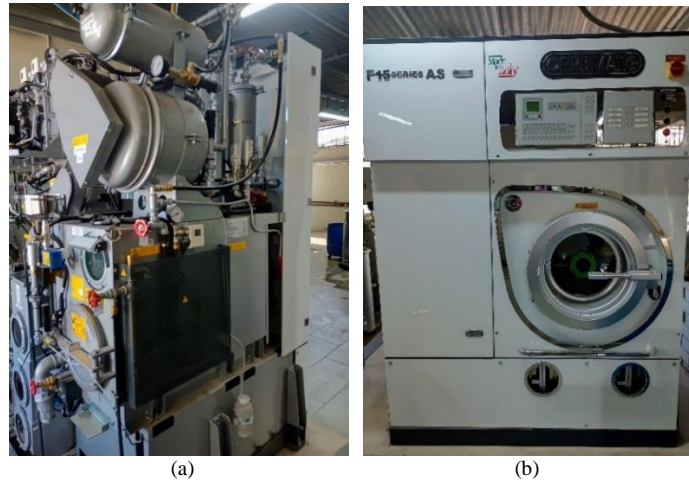


Figura 1. Lavadora en seco multisolvente. (a)Vista lateral-posterior (b)Vista frontal
Fuente. Registros internos Reactivos Jeans S.R.L.

Inicialmente se verificaron los suministros y entradas de acuerdo con las disposiciones del fabricante: suministro de energía trifásico de 380 voltios a 60 Hz, agua a menos de 20°C y presión mayor a 40 PSI, nitrógeno a presión de 75 PSI en la entrada y no menos de 220 bares en la botella dispensadora para que realice el proceso de lavado de manera automatizada y precisa. Se cargó un grupo (mismo color, tipo de fibra y tipo de tejido) de componentes textiles en la cámara de lavado; luego se dio inicio al programa de lavado que contempla el lavado, centrifugado, secado y desodorizado de prendas textiles. Mediante este programa se cargó el solvente a la cámara de lavado de forma automática en relación de 2 litros por cada kilogramo de prendas textiles durante 1 minuto. Luego se lavaron los componentes bajo los parámetros de control como: El tiempo de lavado-Prendas de prueba textiles con bastante carga de impurezas (prueba 01 y prueba 03); se lavan durante 7 minutos y para componentes no muy sucios (prueba 02) durante 4 minutos estándar. Otros parámetros son: velocidad de giro de la cámara de lavado de 40 RPM, periodo de rotación: de 15 segundos de las prendas dentro de la cesta principal con giros contrarios por cada ciclo y tiempo de descanso: 3 segundos de descanso. Seguidamente, el solvente se retiró del tambor mediante el movimiento centrifugo de la cámara de lavado en dos fases: fase 1(centrifugado lento) con parámetros de tiempo: 2 minutos y velocidad de giro de la cámara principal: 200 RPM, y fase 2 (centrifugado rápido) durante 7 minutos a 500 RPM. En esta etapa, los componentes textiles no deben contener más del 5% de solvente en sus fibras. Después del centrifugado rápido, los componentes se secaron y desodorizaron; continúan sometidos a una rotación de 500 RPM y aire caliente a una temperatura de 75°C (temperatura de evaporación del solvente ecológico DF-2000) durante un tiempo de 15 minutos. Para asegurar el secado, se continuo con la función Dry Control, que controla mediante sensores el grado de secado de las prendas textiles y en caso sea adecuada, pasa de forma automática a la siguiente etapa que corresponde al enfriamiento de la cámara principal. Se tuvo un tiempo de 15 minutos de esta función a una velocidad de 40 RPM, temperatura de 75°C, periodo de rotación 30 segundos y 4 segundos de descanso. En esta etapa el solvente es recuperado en un 99,7%. Finalmente, la máquina lavadora redujo la temperatura de la cámara principal hasta 35°C por un tiempo de 5 minutos para la apertura segura de la puerta de carga y descarga. En la Tabla 2, se muestran las recomendaciones para el tratamiento de cada tipo de fibra textil.

Tabla 2. Lavado de acuerdo con el tipo de fibra textil

Tipo de fibra textil	Recomendaciones para su tratamiento
Alpaca	<ul style="list-style-type: none"> - Tienen menor frecuencia de lavado por su resistencia natural a las manchas, arrugas y olores. - A escala industrial es recomendable el lavado en seco (implica el lavado, centrifugado, secado y desodorizado) ya que es un tejido delicado que puede sufrir fácilmente deformaciones y en consecuencia la reducción de su vida útil.
Algodón	<ul style="list-style-type: none"> - Temperatura de lavado entre 30°C y 50°C. - Puede lavarse en seco utilizando cualquier tipo de solvente habitual.
Lino	<ul style="list-style-type: none"> - Es resistente a las temperaturas elevadas; sin embargo, se sugiere aplicar una temperatura de lavado entre 30 –50°C.
Seda	<ul style="list-style-type: none"> - Preferible lavarla en seco (tintorería). - No utilizar blanqueadores (rompen la fibra).

Fuente: (Montalvo, 2012)

Acabado de prendas textiles: Los componentes textiles fueron sometidos a vaporizado; se colocaron uno a uno, extendidos sobre la mesa vaporizadora y se les suministró vapor a 135°C durante 1 minuto por cada componente; posteriormente se plancharon por un tiempo de 1:30 minuto con la plancha manual vaporizadora que cuenta con una base de teflón para evitar el brillo en los componentes. Aquí varía la temperatura de acuerdo con el tipo de fibra textil. Para fibras de alpaca se tuvo una temperatura de 135°C, algodón a una temperatura máxima de 200°C, lino: entre 200 y 245°C y la seda a una temperatura máxima de 150°C; (si es mezcla se considera la temperatura menor). Se tomaron diversas medidas como ancho del cuello, ancho del puño, largo de la espalda, etc. con una cinta métrica y se comparó dicho valor con el que se muestra en la Hoja de especificaciones correspondiente. El tiempo de planchado y vaporizado determinados en esta etapa aseguran de que las medidas de las prendas estén acordes con su Hoja de especificaciones. Sin embargo, en caso la medida sea menor, vaporizar y planchar la parte cuya medida no sea la correcta durante 30 segundos adicionales. En este paso se busca asegurar la estabilidad dimensional de los componentes textiles.

Para las pruebas 02 y 05, se tuvo un acabado Suave. Para ello se agregó antes de iniciar el lavado (después de la carga de solvente en el tambor) un suavizante compatible con el solvente ecológico: Elso PSL en dosis de 0.5 gramo por kg de prendas textiles. Se detuvo el programa con la tecla Stop del panel de control de la máquina lavadora y se agregó el suavizante en el filtro húmedo según la dosis correspondiente. (Concentración del suavizante: 10% en peso). Posteriormente se continúa con el lavado como está descrito en la etapa anterior-Lavado de prendas textiles.

Para las pruebas 06 y 07 se usó un acabado ultrasuave. De forma similar al acabado suave, se suministra el suavizante Elso PSL, pero en este caso en dosis de 1g por kg de prendas textiles.

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.1. Técnica estandarizada de lavado en seco y acabado ecológico

A partir del análisis de las pruebas desarrolladas, se pudo determinar la secuencia de las actividades y los parámetros de control respectivos en cada una de ellas. En la Figura 3 se muestra el diagrama de flujo del proceso inmerso en la técnica estandarizada de lavado en seco y acabado de prendas textiles ecológico.



Figura 2. Flujograma de la técnica de lavado en seco y acabado ecológico
Fuente: Elaboración propia

A continuación, se detallan los parámetros de control identificados en cada operación:

Clasificar: color, tipo de fibra textil, tipo de tejido.

Acondicionar: Abarca el vaporizado y se tienen los parámetros de control: tiempo de calentamiento de mesa vaporizadora igual a 2 minutos, tiempo de suministro de vapor en mesa vaporizadora igual a 30 segundos por componente (espalda, pecho, brazo, etc.), temperatura igual a 135°C y tiempo de aplicación de calor con plancha manual igual a 1 minuto.

En el lavado, centrifugado, secado y desodorizado se tienen los mismos parámetros de control con distintos valores y se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3. Parámetros de control del lavado, centrifugado, secado y desodorizado en seco ecológico

Parámetro de control	Lavado	Centrifugado		Secado	Desodorizado
		Lento	Rápido		
Tiempo (min)	4 min (sucias) 7 min (muy sucias)	2	7	15	15
Velocidad de giro (RPM)	40	200	500	500	40
Temperatura (°C)	39	35	35	75	75
Periodo de rotación	15	-	-	-	30
Tiempo de descanso	3	-	-	-	4

Fuente: Elaboración propia

Acabado: Abarca un acabado normal que corresponde al planchado - vaporizado y 3 tipos de acabado especial según requerimientos del cliente: Acabado ultrasuave, Acabado antimanchas y Acabado superhidrófilo. En el acabado de tipo normal se tiene: tiempo de 1 minuto en mesa vaporizadora a 135°C y 1.5 minutos con plancha manual a temperatura según el tipo de fibra textil. En el caso de los 3 tipos de acabado especial, se agrega en la etapa de lavado, como se muestra en la Figura 3, un insumo especial* según el tipo de acabado que se desea obtener (Tabla 4). Para el caso del acabado antimanchas; posteriormente a la descarga de las prendas textiles de la máquina lavadora, se cargaron los componentes textiles en la secadora tumbler en donde pasan por un proceso de termo fijado a una temperatura entre 100°C y 120°C durante 15 minutos para secar y reticular las moléculas del producto antimanchas con las fibras a través de sus espacios intermicelares.

Tabla 4. Insumos y dosis de uso por tipo de acabado

Tipo de acabado	Insumo	Dosificación por kg de PT
A. Antimanchas	Elcare T	5 g
A. Ultrasuave	Elso PSL	1 g
A. Superhidrófilo	Siltof AGP	5 g

Fuente: Registros internos Reactivos Jeans

3.2. Ensayos de componentes textiles post lavado en seco y acabado ecológico

A modo de comprobar la efectividad y buen desempeño de la técnica estandarizada de lavado y acabado con los parámetros planteados, se solicitó a un laboratorio de ensayos textiles y de cuero, acreditado por el Instituto Nacional de Calidad-INACAL, los ensayos de estabilidad dimensional, apariencia después del lavado en seco, solidez del color al lavado y solidez del color al frote, obteniendo los resultados que se muestran en la Tabla 5. Para la interpretación de estos valores se toma una escala determinada por el laboratorio que realizó los ensayos, del 1 al 5, en donde 1 representa excesivo cambio de color/excesivo manchado y 5 indica que no hay cambio de color/no hay manchado.

Tabla 5. Resultados de ensayos de componentes lavados bajo la técnica estandarizada de lavado en seco ecológico

Composición de prenda textil		Baby alpaca 70%- Hilado fantasía	Baby alpaca 70%- Hilado fantasía	Baby lino 65/35	Baby seda 70/30	Baby alpaca 100%	Baby alpaca 100%
Tipo de lavado y acabado		Normal	Suave	Normal	Suave	Ultrasuave	Ultrasuave
Estabilidad dimensional	Vertical	-2.7%	-0,5%	-1.2%	-0.4%	-0.9%	-1.6%
	Horizontal	-2.0%	-0,8%	-1.1%	0.4%	-1.7%	-0.4%
Apariencia después del lavado en seco		4.2	3.8	3.7	3.8	3.7	4.5
Solidez del color al lavado		4	4.5	4.5	4	4.5	3.5
Solidez del color a la Luz		4.5	4.5	4	4	3	4.5
Solidez del color al Frote	Seco	4	4	4.5	4	4.5	4
	Húmedo	3	3.5	3.5	3	4	4

Fuente: Adaptado de informe de ensayos. Registros internos Reactivos Jeans.

Mediante el método AATCC TM 158 - 1978e10 (2016) e, se evaluó el encogimiento (-) o elongación (+) del componente textil después de ser lavado y acabado, teniendo una variación máxima vertical de -2.7% y horizontal de -2.0%, ambas variaciones de encogimiento se dieron en la prenda textil de Alpaca al 70%-Hilado fantasía. Por otro lado, la mínima variación dimensional se obtuvo en la prenda textil con fibra Baby seda 70/30, teniendo un encogimiento de -0.4% vertical y 0.4% de elongación horizontal.

Mediante el método AATCC TM 124 / 158, se evaluó la solidez del color bajo una escala de grises después del lavado en seco. Se obtuvo un valor mínimo de 3.7 que indica un ligero cambio de color y un valor máximo de 4.5 que está entre un grado 4: ligero cambio de color y un grado 5: no hay cambio de color.

Mediante el método: AATCC TM 61 - 2013 e (2020), se evaluó bajo la escala de grises AATCC/con muestra original, el grado en que una prenda mantiene su color después del lavado al agua a 49°C, durante 45 minutos, 0.15% WOB. Se obtuvo un valor mínimo de 3.5 que se encuentra entre un notable y un ligero cambio de color. Asimismo, se obtuvo un valor máximo de 4.5 que se encuentra entre un grado 4: ligero cambio de color y un grado 5: no hay cambio de color.

Mediante el método AATCC TM 16.3 - 2020, se evaluó mediante lámpara de arco xenón, el nivel de retención del color original o el cambio de color en la prenda textil después del acabado. Se obtuvo un valor mínimo de 3 que indica un cambio de color notable, mientras que el valor máximo obtenido es de 4.5 que se encuentra entre un grado 4: ligero cambio de color y un grado 5: no hay cambio de color.

Mediante el método AATCC TM 8 - 2016 e, se evaluó la resistencia al desgaste y a las manchas ocasionadas por contacto con otros textiles, teniendo un valor mínimo de 4 (ligero cambio de color) y máximo de 4.5 (no hay cambio de color) para la solidez del color al frote seco mientras que en el húmedo se obtuvo un valor mínimo de 3 (notable cambio de color) y máximo de 4 que indica un ligero cambio de color.

3.2. Tiempo estándar de la técnica de lavado en seco y acabado de prendas textiles

A partir de un estudio de tiempos de todas las actividades involucradas en la técnica de lavado en seco y acabado de prendas textiles desde la preparación de prendas textiles hasta el empaquetado manual de las prendas; se obtuvo como resultado el valor del tiempo normal de ciclo igual a 1,34 horas. Adicionalmente, se procedió a calcular el tiempo estándar, tomando en cuenta los tiempos suplementarios constantes (por necesidades personales y fatiga) y tiempos suplementarios variables (trabajo monótono, trabajar de pie, etc.) determinados por la OIT; obteniendo un tiempo estándar de 1,44 horas/ciclo, de donde el 46% es un tiempo manual y el 54% es el tiempo máquina.

3.3. Costo de lavado y acabado ecológico de prendas textiles

De acuerdo con el tiempo estándar obtenido, se realizó un balance de línea para cubrir una demanda diaria de 75kg de prendas textiles. Se determinó que para un ciclo de lavado y acabado de prendas textiles con un tiempo total estándar de 1.34 horas, se necesita un trabajador y dos estaciones de trabajo. Se analizaron los costos involucrados tanto directos como indirectos pudiendo determinar que el costo de lavado y acabado normal, como se muestra en la ecuación (1), se compone por la sumatoria del costo de mano de obra (a), costo de depreciación de maquinaria y equipos (b), costo de servicios (c), y el costo de insumos (d), como se muestra a continuación:

$$\begin{aligned} Ct \text{ lavado} &= C_a + C_b + C_c + C_d & (1) \\ CT \text{ lav.} &= 4,50 + 2,50 + 1.84 + 2,04 \\ CT \text{ lav.} &= 10,88 \text{ soles/kg} \end{aligned}$$

Para el cálculo del costo de mano de obra (C_a) por hora se consideraron 56 semanas al año con 16 feriados no laborables. El tiempo estándar manual es de 0,67 horas/ciclo de 8kg de prendas textiles, con lo que se obtuvo un costo de mano de obra por kilogramo de prendas textiles de 4,495 nuevos soles.

Considerando que el tiempo estándar de maquinaria es de 0,78 horas/ciclo; se obtuvo que el costo por depreciación (C_b) es de 2,50 nuevos soles por kilogramo de prendas textiles.

Para el costo de servicios (C_c) se tomaron en cuenta el costo de alquiler, estimado en 3000 dólares mensuales, costo del servicio de agua y electricidad; obteniendo un costo de servicios por kilogramo de prendas textiles igual a 1,84 nuevos soles.

Considerando que los insumos usados principalmente son el solvente ecológico DF-2000 y el gas propano para el funcionamiento de la caldera de vapor; se obtuvo un costo de insumos directos igual a 2,04 nuevos soles por cada kilogramo de prendas.

Costos de acabado de prendas textiles: En la Tabla 4 se muestran las dosis de uso para cada insumo utilizado adicionalmente según el tipo de acabado que el cliente requiera; de acuerdo con información del costo de cada uno de ellos se obtuvo para el acabado ultrasuave un costo de S/. 11,01; el costo del acabado antimanchas es de S/.11,13 y en el acabado super hidrófilo se obtuvo un costo de S/.11,01.

4. CONCLUSIONES

Se desarrolló una técnica de lavado en seco y acabado ecológico de prendas textiles cuyo proceso productivo se divide en tres unidades que comprenden desde la preparación de prendas textiles hasta el acabado de prendas textiles con parámetros de control y actividades definidas; tiempo estándar de 1.44 horas/ciclo, de donde el 46% es tiempo manual y 54% corresponde al tiempo máquina.

El balance de línea realizado para atender una demanda de 75kg/día está regido por el tiempo de la máquina lavadora e indica que deben lavarse como mínimo 8kg de prendas textiles por ciclo para cumplir dicho objetivo; se obtuvo además un tiempo de ciclo de 48 minutos; dos estaciones de trabajo; un trabajador calificado y una máquina lavadora en seco multisolvente.

Con el resultado del tiempo estándar del estudio de tiempos y del número de trabajadores del balance de línea, se determinó que el costo del lavado en seco y acabado ecológico de prendas textiles es de S/. 10,88 tomando en cuenta la mano de obra, maquinaria, servicios, e insumos. Para los acabados especiales se obtuvo costos de S/. 11,01 para el acabado ultrasuave, S/.11,13 para el acabado antimanchas y S/.11,01 para el acabado superhidrófilo.

La solidez del color en las pruebas de lavado en seco, lavado en agua y la solidez del color a la luz oscila entre un mínimo de 3 y un máximo de 4.5. El promedio de los tres ensayos es de 4, pudiendo afirmar que la variación en la solidez del color de las prendas textiles lavadas bajo la técnica estandarizada de lavado en seco ecológico y acabado tienen un ligero cambio de color al someterse a lavado en seco, lavado en agua y a la luz solar.

Los resultados del ensayo de estabilidad dimensional indican una variación máxima vertical de -2.7% y horizontal de -2.0%, ambas variaciones de encogimiento se dieron en la prenda textil de Alpaca al 70%-Hilado fantasía bajo un lavado en seco ecológico y acabado normal.

De forma general, los resultados de ensayos de calidad (estabilidad dimensional, apariencia después del lavado en seco, solidez del color al frote, solidez del color a la luz o solidez del color al lavado en agua) respaldan el buen desempeño de la técnica de lavado en seco y acabado ecológico de prendas textiles que a su vez posee beneficios como la reducción del impacto ambiental, eliminación de reprocesos, entre otros.

REFERENCIAS

- Brañez, M., Gutiérrez, R., Pérez, R., Uribe, C., & Valle, P. (2018). Contaminación de los ambientes acuáticos generados por la industria textil. *Campus*, 23(26), 129-143. <https://doi.org/10.24265/campus.2018.v23n26.03>
- Jicha, A. H., Dituro, K. M., & Sherwood, M. J. (2019). *Safer, Cleaner, Greener: Identifying Opportunities to Reduce Chemical Risks in the Dry Cleaning Industry*. <https://digitalcommons.wpi.edu/iqp-all>
- Khan, M. M. R., & Islam, M. M. (2015). Materials and manufacturing environmental sustainability evaluation of apparel product: knitted T-shirt case study. *Textiles and Clothing Sustainability*, 1(1), 8. <https://doi.org/10.1186/s40689-015-0008-8>
- Laukkanen, M., & Tura, N. (2022). Sustainable value propositions and customer perceived value: Clothing library case. *Journal of Cleaner Production*, 378, 134321. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134321>
- Montalvo, V. (2012). *Estandarización de los procesos de lavado de prendas de uso hospitalario, a fin de evitar la propagación de enfermedades infecto contagiosas*. Universidad Técnica del Norte.
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la C. y la C. (2021). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2021*. www.unwater.org.
- Pieronì, M. P. P., McAloone, T. C., & Pigosso, D. C. A. (2019). Business model innovation for circular economy and sustainability: A review of approaches. *Journal of Cleaner Production*, 215, 198-216. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.036>
- Quante, M. (2016, agosto 18). *Los orígenes de la química verde para textiles*. Los orígenes de la química verde para textiles. <https://www.aatcc.org/green-chemistry-1/>
- Said, S., Feki, I., Halaoua, S., Hamdaoui, M., & Sahraoui, W. (2022). The effect of ecological washing treatments on the comfort properties of dyed cotton fabrics. *Alexandria Engineering Journal*, 61(12), 11091-11098. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2022.04.045>
- Wei, Y., Cao, X., Huang, Y., Su, Z., Wang, P., Wang, Z., & Wang, K. (2022). Develop an optimal washing and care mode for knapsack. *Journal of Industrial Textiles*, 52. <https://doi.org/10.1177/15280837221149216>
- Zegarra, A. N. (2014). Development of Ecological Process Dry Cleaning to Wash Alpaca Fiber Garments. *International Journal of Materials, Mechanics and Manufacturing*, 2(4), 286-291. <https://doi.org/10.7763/IJMMM.2014.V2.144>
- Zhao, X., Xiong, M., Jiang, L., Yang, Q., Zhou, C., & Liu, J. (2022). The effect of washing parameters on the quantity of dye discharge from clothes. *Fashion and Textiles*, 9(1), 13. <https://doi.org/10.1186/s40691-022-00289-6>

AGRADECIMIENTOS

- Se agradece a PROINNOVATE, a través de su convocatoria de fondos concursables, este trabajo fue financiado por PROINNOVATE en el marco de la convocatoria de Validación de la Innovación CONTRATO 319-PROINNOVATE-PIEC2-2022 por la adjudicación de sus fondos concursales que permitió el desarrollo del presente proyecto y, por tanto, el desarrollo del presente artículo de investigación generado. Exhortándolos a seguir con esta tarea desinteresada en pro de la mejora y competitividad de las microempresas del país.

- Se agradece a Reactivos Jeans S.R.L. a través de su Gerencia, el Sr. Alejandro Zegarra Balboa, empresa donde se desarrolló el proyecto en mención y se ejecutaron las pruebas y ensayos experimentales. Así mismo, agradecer a todos sus profesionales por el apoyo y asistencia técnica brindados para el desarrollo de este artículo de investigación.

SEMBLANZA DE LOS AUTORES



José A. Aguilar Franco: Ingeniero Industrial por la Universidad Católica San Pablo (Perú). Maestría en Ingeniería Mecánica por la Pontificia Universidad Católica de Rio de Janeiro (Brasil). Segunda Especialidad en Ingeniería de Seguridad Industrial e Higiene Ocupacional. Supervisor de Seguridad y Entrenador de Seguridad acreditado por OSHAcademy de EE.UU. Profesional dinámico, proactivo, con capacidad de liderazgo y responsabilidad. Candidato a Doctor en Proyectos por la Universidad Iberoamericana (México). Con áreas de desarrollo en Mejora de Procesos, Seguridad Industrial, Formulación y Gestión de Proyectos, Procesos Industriales y Mecánicos, Control Ambiental, Energías Nuevas y Renovables, Métodos Experimentales en Ingeniería, Control de Procesos y Calidad. Experiencia en el diseño y rediseño de planta industriales, diseño de procesos productivos y de líneas de procesamiento. Experiencia en participación de convocatorias del estado peruano para la adjudicación de fondos concursables para el desarrollo de proyectos de innovación e investigación, con más de 7 años de experiencias y más de 25 proyectos ganados. Presenta estudios realizados en Gestión de la Seguridad Industrial basado en la normativa nacional con especialización en Seguridad Minera, con 4 años de experiencia en temas de Sistemas de Gestión de Seguridad. Experiencia en Formulación de Proyectos de investigación e innovación, con más de 8 años de experiencia en Formulación y Gestión de Proyectos con empresas del sector industrial, textil, agroindustrial, cuero y calzado, minero, salud entre otros (Piel del Sur E.I.R.L., Muñoz Najar, Franky y Ricky, Art Atlas, Majes Tradición, Polos &Cosas, Reactivos Jeans, CEPROMET Minera Porvenir, etc). Docente de la Universidad Católica San Pablo y Director del Instituto de Energía y Medio Ambiente (IEM-UCSP).



Elena R. Ramirez Arenas: Bachiller de la carrera profesional de Ingeniería Industrial en la Universidad Católica San Pablo, Perú. Actualmente viene desarrollando su tesis en el Instituto de Energía y Medio Ambiente (IEM) de la Universidad Católica San Pablo para obtener el título profesional de Ingeniero Industrial.