

Influence of dilatant non-Newtonian fluid coating on the impact absorption of safety helmets

D.Y. Cabrera-Chocata, MSc¹, J.A. Rosas-Rojas¹, and W.D. Delgado-Vieira¹

¹Universidad Tecnológica del Perú, Arequipa, Perú, c20101@utp.edu.pe (D.Y.C.-CH), u18101434@utp.edu.pe (J.A.R.-R), u18100384@utp.edu.pe (W.D.D.-V)

Abstract— This study focuses on the application of non-Newtonian fluids, specifically shear-thickening fluids (STF), to improve the impact resistance of safety helmets. Given the growing need to protect workers in high-risk environments, it was explored how the incorporation of this type of fluid could increase the effectiveness of existing helmets. Therefore, the design and manufacture of an impact testing machine will be evaluated, as well as the evaluation of the hardness of aluminum plates using the Rockwell method. Through various tests, it was determined that helmets coated with STF showed a significant improvement in impact absorption, reaching an increase of 25.49% compared to standard models. The tests were carried out at different drop heights, with 1.92 meters being one of the most effective for measuring resistance. The results concluded that the use of non-Newtonian fluids, particularly STF, is feasible and potentially transformative in the design of personal protective equipment, underlining its importance in materials engineering and industrial safety. This work contributes to the creation of products that can provide better protection to people in vulnerable environments.

Keywords— Impact absorption, non-Newtonian fluids, safety helmets

Influencia del revestimiento de fluido no newtoniano dilatante en la absorción de impactos de los cascos de seguridad

D.Y. Cabrera-Choccata, MSc¹, J.A. Rosas-Rojas¹, and W.D. Delgado-Vieira¹

¹Universidad Tecnológica del Perú, Arequipa, Perú, c20101@utp.edu.pe (D.Y.C.-CH), u18101434@utp.edu.pe (J.A.R.-R), u18100384@utp.edu.pe (W.D.D.-V)

Resumen— Este estudio se centra en la aplicación de fluidos no newtonianos, específicamente fluidos espesantes por cizallamiento (STF), para mejorar la resistencia al impacto de cascos de seguridad. Ante la creciente necesidad de proteger a los trabajadores en entornos de alto riesgo, se exploró cómo la incorporación de este tipo de fluido podría incrementar la eficacia de los cascos existentes. Es por ello, que se va a evaluar el diseño y la fabricación de una máquina de pruebas de impacto, y la evaluación de la dureza de placas de aluminio utilizando el método Rockwell. A través de diversas pruebas, se determinó que los cascos recubiertos con STF mostraron una mejora significativa en la absorción de impactos, alcanzando un incremento del 25.49% en comparación con los modelos estándar. Las pruebas se llevaron a cabo a diferentes alturas de caída, siendo 1.92 metros una de las más efectivas para medir la resistencia. Los resultados concluyeron que el uso de fluidos no newtonianos, particularmente el STF, es viable y potencialmente transformador en el diseño de equipos de protección personal, lo que subraya su importancia en la ingeniería de materiales y la seguridad industrial. Este trabajo, contribuye a la creación de productos que pueden proporcionar una mejor protección a las personas en entornos vulnerables.

Palabras clave— Absorción de impactos, Fluidos no-Newtonianos, cascos de seguridad

I. INTRODUCCIÓN

Los cascos de seguridad son elementos fundamentales en la protección contra impactos, cuya optimización continúa siendo objeto de investigación. Los fluidos no newtonianos dilatantes (STF) han demostrado ser una solución innovadora para mejorar la absorción de impactos debido a sus propiedades únicas [1], estos fluidos muestran un incremento significativo en su viscosidad bajo fuerzas súbitas, característica que los hace ideales para aplicaciones protectivas [2]. En el ámbito de los equipos de protección personal (EPP), los fluidos no newtonianos están siendo investigados y aplicados para mejorar la efectividad de materiales tradicionales como el kevlar [3]. Estudios han demostrado que la incorporación de STF puede aumentar significativamente la capacidad de absorción de impactos en chalecos antibalas, permitiendo una mayor protección con menos material [4],[5]. Investigaciones recientes también han explorado su uso en prendas laborales y deportivas, donde se busca proporcionar comodidad sin comprometer la seguridad [6],[7]. La evaluación de las características de estos fluidos, incluyendo su dureza y resistencia a la fractura, es

fundamental para garantizar su efectividad en situaciones críticas. Pruebas de impacto han sido desarrolladas para medir cómo estos materiales responden a fuerzas repentinas, revelando su capacidad para endurecerse al recibir un golpe y luego regresar a un estado flexible [8],[9]. Este comportamiento reopéctico no solo mejora la protección, sino que también ofrece ventajas en términos de confort y movilidad para el usuario. Investigaciones realizadas por [10] evidenciaron que la incorporación de STF en materiales de protección puede incrementar la absorción de energía hasta en un 40% comparado con materiales tradicionales. Las investigaciones recientes han explorado diversas aplicaciones de STF en equipos de protección. Así también investigaciones [1] desarrollaron un método para aplicar recubrimientos STF en superficies poliméricas, alcanzando mayor adherencia y durabilidad, y [11] evaluaron diferentes composiciones de STF bajo distintas condiciones de impacto, identificando formulaciones óptimas para aplicaciones específicas, otras investigaciones [12] documentaron una mejora del 32% en la resistencia al impacto en prototipos de cascos tratados con STF, para el apoyo en el acondicionamiento físico y entrenamiento general. Sin embargo, existen vacíos significativos en la literatura actual. [13] señalan la ausencia de estudios exhaustivos sobre la durabilidad de los recubrimientos STF en condiciones reales, [11] identifican la necesidad de protocolos estandarizados para evaluar estos recubrimientos en cascos de seguridad. Además, [8] destacan la falta de investigaciones sobre la interacción entre STF y materiales bases utilizados en cascos industriales.

El presente estudio aborda estos vacíos al investigar la influencia del recubrimiento de fluido no newtoniano dilatante en la absorción de impacto de cascos de seguridad. Esta investigación busca caracterizar sistemáticamente el comportamiento de estos recubrimientos bajo condiciones controladas de laboratorio, proporcionando datos cruciales para su implementación práctica en equipos de protección personal.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Selección del fluido no newtoniano (FNN)

Para el desarrollo del presente trabajo de investigación, se buscó recopilar información sobre características propias de cada fluido no newtoniano con el fin de analizar el fluido más adecuado de acuerdo con los siguientes parámetros:

Comportamiento y propiedades, aplicaciones, estudio y modelo, consideraciones prácticas. Después de analizar las características mencionadas, se procedió a realizar una comparación para seleccionar el fluido no newtoniano más adecuado.

B. Preparación del fluido no newtoniano (FNN)

Para la elaboración del fluido no newtoniano dilatante STF, se tomó como referencia [14], en su investigación indica que la mezcla de fécula de maíz y agua crea un fluido no newtoniano y recomienda que el porcentaje en peso (%p/p) óptimo es de 52.5% de fécula de maíz y 47.5% de agua.

C. Elección del casco de Seguridad

Con el fin de elegir el tipo de casco óptimo para este trabajo de investigación, se evaluaron los diferentes tipos y clases, se tomó como referencia lo indicado [15]. Es importante entender que la clasificación por 'Tipo' especifica la protección contra impactos, mientras que la clasificación por 'Clases' determina la resistencia eléctrica. En base a la norma se decidió utilizar el casco de seguridad Tipo I-Clase E por su protección a impactos en la parte coronal y porque tiene una resistencia eléctrica de 20,000 voltios. Esta característica fue importante al añadirle un fluido al casco, asegurando que no perdiera su alta resistencia eléctrica.

D. Acondicionamiento del casco con el fluido

1) *Diseño del Casco:* Para el diseño del casco con STF, se evaluaron las dimensiones de la corona, En base a las dimensiones del casco, se optó por utilizar una bolsa para cubrir la mayor área posible en un casco Tipo I, las dimensiones de cada bolsa son de 9 cm x 10 cm.

2) *Adición del Fluido al Casco:* Se procedió al armado del casco con el fluido. Para armar el casco con STF, se requirieron los siguientes materiales: Casco de seguridad, 1m² de geomembrana, 1 calentador de tubos, 1 tijera, 1 embudo, Fécula de maíz (fluido no newtoniano), Agua destilada. Con los materiales listos, se procedió a cortar la geomembrana en pedazos de 9 cm x 10 cm para fabricar bolsas, tal como estaba previsto en el diseño asistido por computadora. Tras fabricar el prototipo del casco de seguridad con fluido no newtoniano, se procedió a pesar el casco, obteniendo un peso de 441 g.

E. Pruebas mecánicas de compresión

1) *Prueba de dureza de placa de aluminio:* Para la determinación de dureza de la placa de aluminio de 5 mm de espesor, se realizó mediante los ensayos de Rockwell y Brinnell. El ensayo de dureza mide la resistencia de la superficie de un material a la penetración por un objeto duro. Se consideró como muestra la placa de aluminio, se trabajó con el equipo de durómetro Rockwell ATK marca Indentec, con un indentador punta de bola.

2) *Diseño de la máquina de prueba de impacto:* Para la elaboración de la máquina de prueba de impacto, se tomó como referencia los métodos de ensayo de la [16], que describen el ensayo de impacto practicado a los cascos de seguridad y los elementos necesarios para su aplicación.

3) *Armado de Registrador:* Para la fabricación del registrador, fue necesaria un indentador punta de bola de 12.7 mm, la cual tiene la función de marcar una placa de aluminio virgen. Su objetivo es registrar una marca que posteriormente se mide con la ayuda de un vernier, para determinar la fuerza absorbida por el casco, Fig. 1. La placa de aluminio utilizada fue llevada al laboratorio para evaluar su dureza Brinnell (HB), con el fin de calcular la resistencia al impacto al final de los ensayos mediante una fórmula de fuerza expresada en (kgf). Se procedió a armar el registrador que cuenta con una parte móvil para facilitar la colocación y el cambio de la placa de aluminio y la billa. Además, se utilizó una horma con forma de cabeza humana para colocar el casco durante el experimento. La billa y la placa de aluminio se situaron entre dos piezas de madera, una fija y una móvil, justo debajo de la cabeza, para que el impacto dejara una marca en las placas de aluminio.



Fig. 1 Marca en Placa de Aluminio

4) *Armado de Estructura – soporte:* Se procedió a armar una estructura de 250 cm de alto, Fig. 2 para realizar las pruebas con la billa de acero a diferentes alturas. Dicha estructura fue fabricada en metal para ofrecer mayor resistencia, y en la parte superior se colocaron dos ganchos para colgar la billa de acero de 3.63 kg.

F. *Prueba de impacto:* Para el desarrollo de las pruebas de impacto, se seleccionaron 6 cascos de seguridad, a los cuales se les acondicionaron; sin el FNN y con el recubrimiento del fluido no newtoniano y se procedió a pesarlos. Pesos de cascos sin FNN: 280 g, 359 g, 369 g, 373 g, 363 g, 357 g y para las pruebas con recubrimiento de FNN se preparado los siguientes pesos: 373 g, 438 g, 441 g, 442 g, 441 g, 432 g. Después de pesar los cascos, se colocaron el papel de registro y el papel calca entre la horma del casco y el tafilete, con el fin de medir

el impacto en el casco de seguridad. Ambos papeles se utilizaron para registrar el golpe al soltar la bola de acero sobre el casco. El impacto se marcó en el papel calca, dejando una impresión en el papel de registro, lo que evidenció la magnitud del impacto. Para iniciar con las pruebas se procedió a colocar el primer casco de seguridad en la forma con forma de cabeza, ubicada sobre el registrador. Con ayuda del tafilite, se ajustó el casco a la cabeza para evitar cualquier movimiento de este. Para la investigación de las pruebas de impacto se optó por variar la altura en cada casco utilizado, sin variar el peso de 3.63 kg de la billa, para así evaluar su resistencia al impacto. Se realizó estas pruebas tanto con cascos con fluido no newtoniano como sin él, para comparar cuánto aumentó la resistencia al impacto en los cascos de seguridad con FNN.



Fig. 2 Armado de estructura de soporte para pruebas de impacto

G. Determinación de la viabilidad: Para la evaluación de la viabilidad funcional, se realizó la experimentación del casco bajo las referencias [16]. Para determinar la viabilidad ergonómica, se utilizó un Check List basado en el cumplimiento de aspectos como el peso y los elementos del casco.

H. Juicio de expertos: Para determinar la validez de las herramientas desarrolladas y para evaluar la viabilidad funcional, ergonómica, se utilizó un juicio de expertos basado en el método de Hernández-Nieto, que describe cómo llevar a cabo este tipo de evaluación. En la presente investigación, se contó con la participación de tres ingenieros titulados y colegiados, quienes evaluaron las herramientas aplicadas utilizando la tabla de Validación de Expertos - Hernández Nieto.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. Selección de Fluido No Newtoniano

Los fluidos no newtonianos son fundamentales en numerosas aplicaciones industriales y científicas debido a su comportamiento único de flujo. La Tabla I, permite comprender los diferentes tipos de fluidos no newtonianos y sus propiedades es crucial para diseñar procesos eficientes, desarrollar nuevos materiales y avanzar en áreas como la medicina, la ingeniería y la química. Por ello, al considerar las ventajas y aplicación de los fluidos no newtonianos, se opta por elegir el fluido no newtoniano dilatante (STF), teniendo en cuenta la finalidad de este trabajo de investigación, que es mejorar las propiedades físicas de un casco de seguridad contra impactos.

Se identifica que el STF tiene mayores propiedades frente a los otros fluidos especialmente en términos de resistencia a los impactos debido a su comportamiento viscoso cuando es sometido a estos. Por lo tanto, se ha decidido utilizar el STF.

TABLA I
COMPARACIÓN DE FLUIDOS NO NEWTONIANOS POR SU
COMPORTAMIENTO Y PROPIEDADES

Característica	Comportamiento y propiedades
Fluidos Pseudoplásticos	Tienen una viscosidad que disminuye con el incremento de la velocidad de deformación, lo que resulta en una disminución de la viscosidad y una mayor facilidad de flujo, esto depende del aumento de la tasa de deformación [6].
Fluidos Dilatantes	Los fluidos dilatantes se vuelven más viscosos a medida que se aumenta la velocidad de corte, volviéndose más sólida [10].
Fluidos Viscoelásticos	Combinan características de los sólidos elásticos y los fluidos viscosos. Esto significa que cuando se someten a una fuerza, pueden deformarse como un fluido, pero también pueden recuperar su forma original como un sólido elástico una vez que cesa la fuerza aplicada. [13].

B. Elaboración del fluido no newtoniano

Para la elaboración del fluido no newtoniano dilatante, se tomó como referencia al autor [14], quien en su investigación indica que la mezcla de fécula de maíz y agua crea un fluido no newtoniano, y que ambos componentes deben ser mezclados en partes casi iguales. El autor recomienda las siguientes proporciones, donde los investigadores determinaron que el porcentaje en peso (%p/p) óptimo es de 52.5% de fécula de maíz y 47.5% de agua. Utilizando la información recopilada de la tesis previamente mencionada, se realizaron los cálculos correspondientes, obteniendo las siguientes medidas para la preparación del fluido no

newtoniano, las cuales fueron registradas mediante una balanza electrónica.

C. Prueba de dureza de placa de aluminio

El presente trabajo de investigación se realizó bajo los ensayos de Dureza Rockwell, este utiliza una pequeña bola de acero para materiales blandos. La profundidad de la penetración es medida automáticamente por el instrumento y se convierte a índice de dureza Rockwell (HR), en la Tabla II se da a conocer los resultados de la lectura de dureza.

TABLA II
LECTURAS DE DUREZA

Material - Aluminio					
L-1 (HR)	L-2 (HR)	L-3 (HR)	L-4 (HR)	L-5 (HR)	Promedio (HR)
73.60	73.50	73.0	73.40	73.50	73.50

Por medio de una experimentación controlada y supervisada se cumplió con la determinación de la dureza Brinell de una placa de aluminio de 5 mm. Luego de usar el método de interpolación se obtiene para el valor de 73.5 HR una dureza Brinell de 129.5 HB.

D. Pruebas de impacto sin fluido no Newtoniano

Esta prueba se trabajó variando la altura de impacto: 1.52 m, 1.62 m, 1.72 m, 1.82 m, 1.92 m, y 2 m; como se indica en la normativa que se tomó de referencia [16] sin variar el peso de 3.63 kg de la billa, se procedió a realizar el ensayo, dando como resultado en el papel registro una marca levemente pronunciada, en cuanto a la placa de aluminio registró una marca de deformación en (mm). Los datos obtenidos en el ensayo sin fluido no newtoniano fueron recopilados en la Tabla II donde se fue resolviendo de acuerdo con la ecuación de Dureza Brinell.

TABLA III
FUERZA EN (KGF) DE ENSAYOS SIN FNN

Altura (m)	HB	D (mm)	d (mm)	F (Kgf)
1.52	129.5	12.7	1.42	205.7316
1.62	129.5	12.7	1.88	361.1725
1.72	129.5	12.7	2.32	552.0851
1.82	129.5	12.7	2.66	727.7249
1.92	129.5	12.7	3.06	966.6038
2.00	129.5	12.7	3.30	1126.9694

De los datos obtenidos en las pruebas y utilizando la fórmula para calcular la fuerza F, expresado en kilogramos (kgf), se han obtenido valores Tabla III, que muestran la cantidad de energía que recibe la cabeza en cada ensayo a las diferentes alturas en las que se probó el casco. Se puede inferir que la fuerza recibida es directamente proporcional a la altura en la que se dejó caer la billa. En Tabla III a medida que la altura del ensayo aumenta, también lo hace la fuerza registrada. Esto evidencia una tendencia claramente ascendente, lo que indica que los cascos sin fluido no

newtoniano no absorben eficientemente los impactos a medida que aumenta la altura, lo que podría indicar menor protección frente a caídas o golpes de mayor intensidad.

E. Pruebas de impacto con fluido no Newtoniano

Se alineó correctamente la billa de acero de 3.63 kg con el registrador a una altura de 1.52 m, 1.62 m, 1.72 m, 1.82 m, 1.92 m, y 2 m; y se procedió a soltar la billa de acero. El resultado de la primera prueba fue evaluado de acuerdo con la marca dejada en el papel registrador dentro del casco. Esta dejó una marca leve en el papel, dejando huellas poco notorias. Además, la lámina y la bolilla colocadas debajo en el registrador evidenciaron que el casco tuvo una alta resistencia al impacto, ya que en la placa de aluminio no se apreció una huella significativa. Al finalizar las pruebas, se realizaron los cálculos Tabla IV, de acuerdo con la norma para evaluar la resistencia del impacto, utilizando los valores obtenidos en el ensayo, como el diámetro de la marca dejada en la lámina de aluminio, el diámetro de la bolilla utilizada y los resultados del laboratorio sobre la dureza Brinell de la lámina de aluminio. Los datos fueron recopilados en Tabla III y Tabla IV: una para los ensayos sin fluido no newtoniano y otra para los ensayos con fluido no newtoniano, con el fin de comparar ambos resultados. Los datos del ensayo del casco con fluido no newtoniano se representan en la siguiente Tabla IV, donde también se resolvió la fórmula para calcular la fuerza F (Kgf)

TABLA IV
FUERZA EN (KGF) DE ENSAYOS CON FNN

Altura (m)	HB	D (mm)	d (mm)	F (Kgf)
1.52	129.5	12.7	1.58	254.8972
1.62	129.5	12.7	1.78	323.8540
1.72	129.5	12.7	1.86	353.7809
1.82	129.5	12.7	2.02	417.6731
1.92	129.5	12.7	2.28	533.0559
2.00	129.5	12.7	2.58	684.1508

En la Tabla IV se observa que los valores disminuyen después de adicionar el fluido no newtoniano, logrando una absorción de impacto de hasta el 65% de la fuerza recibida. A medida que aumenta la altura de la prueba, la fuerza ejercida sobre el casco incrementa de manera constante. A 1.52 metros, la fuerza es de 254,90 kg, mientras que a 2 metros alcanza un máximo de 684,15 kg. Los datos sugieren que las alturas de caída mayores resultan en una mayor fuerza absorbida o registrada por el casco, lo que indica una correlación entre la altura del impacto y la fuerza experimentada.

F. Absorción de impacto

Después de realizar la experimentación del casco, se realizó la comparación. Como se observa en la Tabla V, los resultados del ensayo a seis cascos con recubrimiento de fluido no newtoniano y sin fluido, con respecto a las deformaciones en las láminas de aluminio colocadas en el registrador para evaluar la fuerza de impacto.

La diferencia entre las marcas dejadas en las láminas de aluminio utilizadas en el experimento demuestra una mejora en la absorción de impactos en los cascos de seguridad utilizados en los ensayos.

TABLA V
AUMENTO DE LA ABSORCIÓN DE IMPACTOS

Casco de seguridad	Altura (m)	Con recubierta de FNN	Sin recubierta de FNN	Aumento de la absorción de Impacto (%)
		Marcas en la placa (mm)		
1	1.52	1.38	1.42	2.82%
2	1.62	1.78	1.88	5.32%
3	1.72	1.86	2.32	19.82%
4	1.82	2.02	2.66	24.06%
5	1.92	2.28	3.06	25.49%
6	2.00	2.58	3.30	21.82%

Donde se llegó a obtener un aumento de la absorción de impacto de un 25.49% el cual corresponde a la altura de 1.92 m., Fig. 3. Sin embargo, también se puede observar que cuando se realizó el ensayo a 2 metros de altura la absorción de impacto va reduciendo, es decir que entre más altura la propiedad dilatante del fluido no newtoniano disminuye.

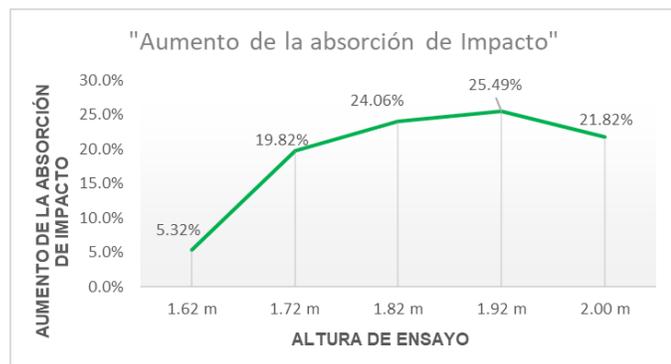


Fig. 3 Efecto de la altura de ensayo en el % de absorción de impacto

G. Prueba de impacto con y sin fluido no Newtoniano

La Fig. 4 presenta una comparación de muestras de cascos con y sin fluido no newtoniano (FNN), la fuerza expresada en kilogramos (kg) en el eje vertical y la altura del ensayo en metros (m) en el eje horizontal. Las líneas representan dos escenarios diferentes: la línea naranja para los cascos sin FNN y la línea azul para los cascos con FNN.

Cascos sin FNN (línea naranja): A medida que aumenta la altura del ensayo, la fuerza registrada incrementa considerablemente. Comienza en 254.90 kg a una altura de 1.52 m y alcanza un valor máximo de 1126.97 kg a 2 m. La curva muestra una tendencia claramente ascendente, lo que sugiere que los cascos sin FNN tienen menos capacidad para absorber el impacto a medida que aumenta la altura. Cascos con FNN (línea azul): La fuerza registrada es considerablemente menor en comparación con los cascos sin FNN. Comienza en 205.73 kg a 1.52 m y llega a 684.15 kg a 2 m. Aunque también muestra un aumento con la altura, la curva es menos pronunciada, lo que indica que los cascos con FNN

absorben mejor los impactos a mayores alturas. Se concluye que los cascos con FNN ofrecen una mejor amortiguación de impactos, ya que las fuerzas de impacto son menores en todos los niveles de altura en comparación con los cascos sin FNN.



Fig. 4 Comparación de muestras de cascos con y sin FNN

La diferencia entre ambos tipos de cascos se vuelve más significativa a mayores alturas, especialmente a partir de 1.82 m, donde la fuerza registrada sin FNN es significativamente mayor que con FNN. De la evaluación funcional, se demuestra que el casco con el recubrimiento de fluido no newtoniano presenta mayor resistencia a la fuerza de impacto que el casco bajo condiciones estándar.

H. Determinación de la viabilidad:

Para la evaluación ergonómica se utilizó un Check List en el cual se toman los criterios de fijación, peso total y material del casco. Dichos criterios fueron tomados [16], para su aceptación de viabilidad se tiene que cumplir los 3 criterios. Fijación: El casco deberá ajustarse cómodamente y sin dificultad sobre la cabeza. Los elementos de la suspensión serán fácilmente regulables para obtener la adecuada fijación. Peso Total: El peso total del casco y su suspensión no será mayor de 450 g. Materiales: Los materiales en contacto con la piel o cabellos normales no deben causar irritación o daño alguno. En la cual se evaluó la viabilidad ergonómica de los cascos con fluido no newtoniano se obtuvo como resultado que los 6 cascos cumplen con los 3 criterios establecidos en [16], por lo cual se puede concluir que al acondicionar el fluido no newtoniano al casco de seguridad no se repercute contra la Norma Técnica Peruana [16], en cuanto a la estructura del casco de seguridad y es apto para su uso

I. Interpretación de Juicio de Expertos

De los datos obtenidos por cada evaluación del juicio de expertos se extrae los siguientes datos y se presenta en la Tabla VI. Sumatoria de criterios (Sxi): La columna titulada Sxi, se obtiene al sumar las calificaciones obtenidas según cada uno de los tres jueces, por cada criterio. Constante de puntuación máxima (Mx): La columna Mx se mantiene constante aquí, pues representa la puntuación máxima, que se puede obtener en cada una de las preguntas, como estamos usando una escala de Likert de cinco puntos, y se está

evaluando 10 criterios este número es, en este ejemplo: $10 \times 5 = 50$. Estimación de Coeficiente de Validez de Contenido Inicial (CVCi): La Columna denotada por CVCi es la primera estimación del coeficiente de validez de contenido para el ítem número “i”, que se obtiene al dividir la columna anterior por la calificación máxima alcanzada de los tres jueces para ese ítem es decir es igual, en este ejemplo a $50 \times 3 = 150$.

Coeficiente de Validez de Contenido Final (CVCtc): La última columna (CVCtc), se obtiene de la resta de la columna CVCi con la probabilidad de error o Pei y se representa el coeficiente de Validez de Contenido de la pregunta o ítem del test. Coeficiente de Validez de Contenido (CVC): La interpretación del CVC, se puede realizar de acuerdo a la escala de valores: Menor a 0.6 validez y concordancia inaceptables. Igual o mayor de 0.6 y menor a 0.7, validez y concordancia deficientes. Mayor que 0.71 y menor o igual que 0.8, validez y concordancia aceptables. Mayor que 0.8 y menor o igual a 0.9, validez y concordancia buenas. Mayor que 0.9, validez y concordancia excelentes. Dando como resultado lo siguiente.

TABLA VI
RESULTADO DE JUICIO POR EXPERTOS

JUECES			Sxi	Mx	Sxi/M _x	CVCi	Pei	CVCtc
1	2	3						
46	47	45	138	50	2.76	0.92	0.037	0.882
47	49	46	142	50	2.84	0.94	0.037	0.909
49	47	48	144	50	2.88	0.96	0.037	0.922

Coeficiente de Validación para la viabilidad funcional: 0.8829. Coeficiente de Validación para la viabilidad ergonómica: 0.9096. Coeficiente de Validación para la viabilidad económica: 0.9229.

Siendo todos los valores mayores a 0.8 que determina que todos los ítems evaluados son válidos para la investigación y pueden ser concluyentes para el objetivo que fue diseñado

J. Discusión de Resultados

En esta investigación se realizaron pruebas mecánicas para medir la resistencia a impactos en cascos de seguridad, en los que se añadió un recubrimiento de fluido no newtoniano a base de fécula de maíz con agua, como el autor [12] que usó la misma mezcla, pero aplicando en un bloque de pateo de artes marciales y utilizó la metodología triz. Para evaluar la funcionalidad de la mezcla, concordando ambas investigaciones que la aplicación del fluido no newtoniano es favorable tanto ergonómicamente como funcionalmente. El autor [10] quien realizó su investigación con simulaciones en el software Patran-Nastran en una sola distancia de disparo, se obtuvo como resultados que el fluido logro aumentar en un 15% la penetración a impactos de bala llegando a la conclusión que el fluido se convierte en un sólido que reduce la fuerza de impacto. En comparación con los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación en el cual se evaluó el aumento de resistencia al impacto a diferentes

alturas llegando a un resultado de 21.82% de resistencia al impacto en una altura de 1.92 m.

IV. CONCLUSIONES

Se logró la aplicación del recubrimiento de fluido no newtoniano en cascos de seguridad para mejorar significativamente la protección contra impactos. El fluido no newtoniano dilatante debido a su comportamiento de viscosidad es de fácil elaboración y aplicación en industrias de protección, así mismo se trabajó con cascos de tipo 1 por su protección a impactos en la parte coronal y clase E por su resistencia de 22000 voltios, además de elegir a la geomembrana como el material que contendrá el fluido, de acuerdo con lo anterior se diseñó el casco con el recubrimiento del fluido no newtoniano en AutoCAD para tener un reconocimiento primario de cómo se colocaría el recubrimiento, finalmente aplicarlo en el casco de seguridad. Para desarrollar las pruebas mecánicas del casco de seguridad con recubrimiento de fluido no newtoniano, se realizó el armado de un equipo para medir la fuerza de impacto en cascos de seguridad una altura de 1.52 m y soportar un peso de 3.63 kg, así mismo, para evaluar el prototipo del casco se sometió a 12 ensayos (6 con fluido no newtoniano y 6 sin fluido no newtoniano) teniendo en cuenta las siguientes alturas 1.52 m, 1.62 m, 1.72 m, 1.82 m, 1.92 m, 2.00 m, las cuales fueron evaluadas según las marcas dejadas en las placas de aluminio del registrador, donde se obtuvo un aumento de la absorción de impacto de un 25.49%, correspondiente a la comparación de los ensayos número 5 (altura de 1.92 m) siendo el índice de absorción más alto. Sin embargo, en el ensayo número 6 (altura de 2 m) la absorción de impacto empezó a reducir teniendo como resultado 21.82% de absorción de impacto, es decir que entre más altura la propiedad viscosa del fluido no newtoniano disminuye.

AGRADECIMIENTO

Al equipo de expertos del laboratorio de Ingeniería Mecánica por el apoyo brindado en la realización de este trabajo de investigación.

REFERENCIAS

- [1] G. Serra., et al. Fluido espesante por cizallamiento (STF) en aplicaciones de ingeniería y el potencial del corcho en compuestos basados en STF. *Rev. Avances en la ciencia de coloides e interfases*, vol.327, may. 2024, 103157. ISSN 0001-8686, <https://doi.org/10.1016/j.cis.2024.103157>.
- [2] S. Hernández, P. Alarcón, A. Vaquero, S.Collado.. Fluido no Newtoniano. *J. IngeniaMateriales*. May.2019. pp.29-32
- [3] A. Majumdar, B. Singh, A. Srivastava. Desarrollo de materiales compuestos blandos con resistencia al impacto mejorada utilizando tejido de Kevlar y fluido espesante a base de nano sílice. *J. Materiales y diseño*. Vol. 54, feb. 2014, pp. 295-300
- [4] V. Escamilla, L. Jimenez, I. Olguin, M. Calle. PJ-115-DC-LO. Chaleco antibalas a base de Fluidos no Newtonianos. *Divulgación y enseñanza de la ciencia – UNAM*. Nov. 2018
- [5] A. Majumdar, B. Singh, A. Srivastava. Diseño óptimo de materiales de protección corporal blandos utilizando fluido espesante por cizallamiento. *J. Materiales y diseño*. Vol. 46, abr. 2013, pp. 191-198
- [6] Pinker tex. La textil lusa Inovafil estudia el uso textil de fluidos no-newtonianos. *Newsletter*. Dic.2021.

- [7] Y. Chaves. La textil lusa Inovafil estudia el uso textil de fluidos no-newtonianos. - Universidad de Costa Rica (UCR) *J. Ingenieros* .es. jun.2013
- [8] V. Fuentes, L. Herrera, N. Navarro, C. Velázquez. Protecciones a base de fluido no Newtoniano. Universidad del Valle de México Campus Hispano. México. Feb. 2018.
- [9] V.B.C. Tan, T.E. Tay, W.K. Teo. Strengthening fabric armour with silica colloidal suspensions, *International Journal of Solids and Structures*, Vol. 42, Issues 5–6, Pp 1561-1576, ISSN 0020-7683, enero 2015
<https://doi.org/10.1016/j.ijsolstr.2004.08.013>.
- [10] Lee, YS, Wetzel, ED y Wagner, NJ. Características de impacto balístico de tejidos de Kevlar® impregnados con un fluido espesante de cizallamiento coloidal. *Journal of Materials Science* 38, 2825–2833.
<https://doi.org/10.1023/A:1024424200221>, 2013
- [11] B. Akers, A. Belmonte. Impact dynamics of a solid sphere falling into a viscoelastic micellar fluid. *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics*. vol 135, Issues 2–3, 2006, pp 97-108, ISSN 0377-0257,
<https://doi.org/10.1016/j.jnnfm.2006.01.004>.
- [12] L. Hernández, G. Flores, J. Garnica, J. Medina. Aplicación del fluido no newtoniano para el diseño de nuevos productos de entrenamiento de artes marciales: desarrollo asistido por triz. *Revista de la Alta Tecnología y la Sociedad*, Vol. 9, No. 3, 2017, pp. 31-37 ISSN 1940-2171
- [13] I. Guillén, S. Puente., J. Garofalo, A. Obando. Estudio del oobleck en la amortiguación de impactos: eficiencia, aplicaciones y limitaciones. *Revista Social Fronteriza* 2024; 4(5): e482. ISSN: 2806-5913
[https://doi.org/10.59814/resofro.2024.4\(5\)482](https://doi.org/10.59814/resofro.2024.4(5)482)
- [14] R. Albarrán, D. María, and S. C. Aguilar. “Análisis experimental de fluidos no newtonianos sometidos a impactos”. Universidad Nacional Autónoma De México Facultad De Ingeniería, 2019
- [15] ANSI/ISEA Z89.1-2014 Norma Nacional Americana Para la protección industrial a la cabeza
- [16] NTP 399.018 2014: Define las especificaciones básicas y procedimientos de prueba para los cascos de seguridad utilizados en entornos industriales. Esta normativa se extiende a todos los cascos de seguridad empleados en la industria, independientemente de su origen nacional o internacional.