

INFLUENCIA DE LA DENSIDAD DE CARTÓN CORRUGADO EN LA DISTANCIA
DE REBOTE DE UN BALÍN DE ACERO.

¿DE QUÉ MANERA INFLUYE EL NÚMERO DE CAPAS DE CARTÓN
CORRUGADO DE 1,58MM DE ANCHO, EN LA DISTANCIA DE REBOTE DE UN
BALÍN DE ACERO?

FÍSICA

NRO. DE PALABRAS: 3997

Tabla de contenido

Introducción.....	3
Capítulo 1/ Marco Teórico	6
1.1 Choques	6
1.2 Momento.....	7
1.3 Coeficiente De Restitución.....	7
1.4 Propiedades Del Cartón Corrugado	8
1.5 Velocidad Final De Una Esfera En Plano Inclinado	9
Capítulo 2/ Diseño Experimental	11
2.1 Plan Y Diseño.....	11
2.2 Procedimiento.....	11
2.3 Variables.....	13
2.4 Hipótesis.....	13
Capítulo 3/ Análisis De Datos	14
Conclusiones.....	21
Referencias	23
Anexos	24

Introducción

En el presente trabajo se analizará cómo la densidad de la superficie de impacto, determinada por el número de capas de cartón corrugado de 1,58 milímetros de ancho, influye en la distancia de rebote de un balón de acero. Se explorará de qué manera diversos factores inciden en el resultado del impacto.

El estudio del movimiento de los cuerpos no es algo reciente, este ha sido atractivo de la curiosidad humana desde la antigüedad, con registros de filósofos griegos como Aristóteles y Arquímedes entre los siglos III y IV a.C., que comienzan a formular ideas sobre el movimiento y comportamiento de los objetos en el espacio. No obstante, la formalización de conceptos y fórmulas se remontan en los siglos XVII con el físico y matemático Sir Isaac Newton quien contribuye significativamente en la comprensión de la mecánica clásica, formulando las leyes del movimiento que establecen las relaciones entre la fuerza, masa y aceleración de un objeto. Como consecuencia de su tercera ley de acción-reacción, deriva que siempre que no existan fuerzas externas actuando sobre un sistema, la cantidad total de momento lineal se conserva (David Halliday, 2020, pág. 106). Premisa conocida como la ley de la conservación del momento que permite determinar el comportamiento de los objetos cuando colisionan y a su vez, predecir el grado de impacto.

Hoy en día, con la llegada de métodos de transporte masivos, deportes de contacto e incluso colisiones en el espacio, los choques se han convertido en un campo relevante de profunda investigación. La necesidad de proteger a un individuo en un accidente de tráfico o transportar productos sin que estos sufran deformaciones, han emergido como exigencias

para empresas de seguridad y comercio, lo que resulta en el estudio de distintos componentes que puedan cumplir con estos objetivos eficazmente, al mismo tiempo que minimicen costos asociados. En este contexto, el cartón corrugado surge como un material ampliamente utilizado en diversos ámbitos industriales y comerciales gracias a su ligereza, bajo costo y capacidad inherente para proteger productos durante su transporte y almacenamiento.

Mi interés personal por este tema nace gracias a la curiosidad desde pequeño sobre fenómenos físicos y cómo estos se encuentran presentes en el día a día. De esta manera, me pregunté cómo un material tan básico como lo es el cartón corrugado puede resistir tantos impactos, y lo que sucede concretamente para que este se haya vuelto un símbolo del embalaje a escala global. Así que de forma práctica me dispuse a realizar un montaje controlado en el que se pueda observar este fenómeno, más concretamente la relación entre las diferentes densidades de cartón corrugado, junto con la conservación de su movimiento, reflejado en el experimento como la distancia de rebote. Lo que converge en la siguiente pregunta ¿De qué manera influye la densidad del cartón corrugado de 1,58mm de ancho, en la distancia de rebote de un balón de acero?

La monografía se encuentra dividida en tres capítulos estructurados de la siguiente manera. En el primero se hace referencia a los aspectos teóricos relevantes para la comprensión de la investigación, donde se definen y explican conceptos tanto independientemente para posteriormente analizarlos en conjunto, sirviéndose así de base teórica para la pregunta escogida. En el segundo capítulo, se describe todo lo relacionado con el diseño experimental, tanto cómo se llevó a cabo el montaje, variables, materiales empleados e hipótesis del experimento. Más adelante, en el capítulo tres, se encuentra el

análisis de los datos obtenidos organizados en una tabla. Con estos se realiza un diagrama de dispersión, donde se profundiza sobre la tendencia de los datos y con ayuda tecnológica se haya cual modelo matemático se ajusta mejor a estos y permite contestar la pregunta. Finalmente, en la conclusión, se presenta el conjunto de aspectos estudiados a lo largo de la monografía, junto a una reflexión acerca de las limitaciones y alcances de este trabajo, concluyendo con algunas recomendaciones desde la experiencia para trabajos similares.

Capítulo 1/ Marco Teórico

En esta sección se exponen los conceptos claves que orientarán el desarrollo de esta investigación junto con postulados que conducirán a la consecución del objetivo principal que es analizar como diferentes densidades de un material liviano, como el cartón corrugado, pueden afectar la absorción de un impacto, referida en la distancia de rebote de un balón de acero.

1.1 Choques

Un choque se define como un encuentro o interacción de partículas u objetos, donde al menos uno está en movimiento provocando un intercambio de momento y/ o energía. Con base en lo que sucede a la energía cinética total, se hace referencia a dos tipos de choques: los elásticos, que se caracterizan por colisiones donde no hay pérdida de energía cinética, conservándose totalmente su movimiento, y los inelásticos, donde parte de la energía de movimiento se dispersa, ya sea debido a calor producido por la fricción, sonido y/ o deformaciones en los objetos. Entonces, $K_f < K_i$ (Wilson, 2007). Se supone que las fuerzas de interacción son mucho mayores a las externas, por lo que se puede emplear una aproximación del impulso, es decir, la varianza en el movimiento lineal de un objeto. Si los cuerpos que chocan entre sí, permanecen juntos después de la colisión y pierden totalmente su velocidad, se hace referencia a esta como perfectamente inelástica. Sin embargo, la mayoría de los choques son inelásticos, ya que conservar o perder totalmente la energía en una colisión es extremadamente raro en escenarios cotidianos donde existen muchos componentes.

1.2 Momento

En la física moderna se denomina al momento o cantidad de movimiento lineal como la cantidad de movimiento que surge de la velocidad y la cantidad de materia conjuntamente (Serway y Jewett, 2008). Esta es una cantidad vectorial que cuenta con la misma dirección que la velocidad, magnitud que nos permite medir la capacidad que tiene un cuerpo de producir un efecto sobre otro en una colisión y se expresa con el símbolo (p). Para que la velocidad de un objeto varíe, deberá haber una fuerza neta actuando sobre él y como el momento está directamente relacionado con la velocidad, un cambio en esta implica una fuerza. Donde la relación de fuerza-cantidad de movimiento se puede observar en la segunda ley de Newton en términos de cantidad de movimiento. $\vec{F}_{neta} = \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t}$. Escrita de esta forma, la segunda ley de Newton dice que la fuerza externa neta que actúa sobre un objeto es igual a la tasa de cambio de la cantidad de movimiento del objeto con el tiempo. Durante una colisión, las fuerzas internas entre los objetos se equilibran, lo que garantiza que el momento total del sistema se conserve. Entonces, ¿Qué determina la cantidad de desplazamiento de los cuerpos en los choques?

1.3 Coeficiente de restitución

Esto lo decide el coeficiente de restitución, siempre y cuando no se involucren fuerzas externas. Simbolizado por (e), es el parámetro de elasticidad de una colisión específica e indica el grado de conservación de la energía cinética. Resulta del cociente entre la velocidad relativa de retroceso y la velocidad relativa de aproximación y se haya entre los valores desde cero, sin conservación alguna de movimiento, hasta uno, manteniendo la misma energía cinética que en un principio (Cajal, 2019). En el caso del rebote de un cuerpo con una

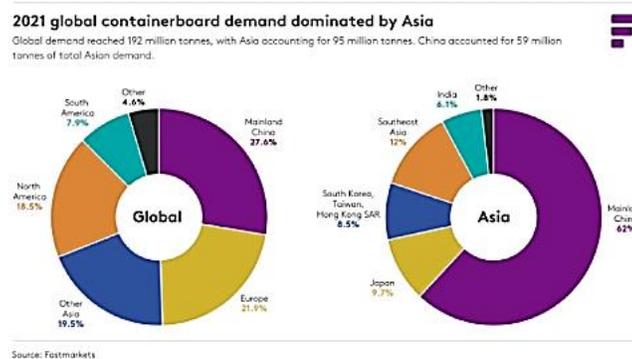
superficie plana, la velocidad de la superficie es nula, por lo que el coeficiente se obtiene de la siguiente forma $e = -\frac{V_{f1}}{v_{i1}}$. Teniendo esto en cuenta, si la diferencia de las velocidades es mínima, se conservará en mayor medida la energía cinética del objeto, por lo que este recorrerá una mayor distancia tras haber impactado con la superficie.

Entre los factores que determinan este parámetro son las propiedades intrínsecas de los materiales: la absorción y elasticidad. Cuando se habla de elasticidad, se hace referencia a la propiedad de los materiales para recuperar su forma original tras haber sido deformados por una fuerza externa (Moebs et al., 2021). Así, al dejar de estar presente dicha fuerza, los cuerpos almacenan en su interior una cantidad de energía potencial elástica, moviéndose o vibrando en respuesta. Aquellos materiales que son capaces de recuperar su forma original al sufrir una deformación total o parcial, se les denomina materiales elásticos y estos permiten que se conserve mejor la energía cinética, tales como la goma, caucho, nylon, gomaespuma, plástico, entre otros...

1.4 Propiedades del cartón corrugado

Para esta investigación, se empleó cartón corrugado de 1,50 mm de ancho como superficie de impacto. Entre los fines del cartón corrugado en la vida real, se encuentran principalmente su uso como material de embalaje y relleno de protección, gracias a su versatilidad, permitiendo seccionarse de diversas maneras y tamaños dependiendo del objeto. Gracias a su estructura, ofrece un buen aislamiento térmico, acústico y resistencia para cargar peso, donde la división entre las dos caras planas del cartón y las ondulaciones del corrugado en medio, forman resistentes arcos que proveen de amortiguamiento y protección al producto.

Sus propiedades físicas, lo han vuelto muy atractivo en el mercado y en el 2021 presentó una demanda de más de 192 millones de toneladas en 2021, lo que enfatiza su importancia a nivel global. Siendo Asia la responsable de la producción de más de 95 millones de toneladas (Saludjian, s. f.).



(Saludjian, s. f.)

1.5 Velocidad final de una esfera en plano inclinado

Contra la superficie de cartón corrugado estará impactando un balón de acero desde un plano inclinado junto a uno horizontal, este será de ayuda para determinar cuánta energía cinética se disipó durante el choque. Cuando una esfera maciza cae a lo largo de una superficie inclinada, se realiza un movimiento de rodamiento sin desplazamiento, lo que combina tanto rotación como traslación de esta. (Wilson, 2007). Al rodar hacia abajo del plano inclinado, la energía potencial determinada por mgh que tiene la esfera por estar en reposo a una determinada altura, se transforma completamente en energía cinética lineal y rotacional una vez se encuentra en el plano horizontal. Al caer, las únicas fuerzas que actúan sobre la esfera son su peso, que es una fuerza conservativa y la de rozamiento estático, que no realiza trabajo por ser nula la velocidad del punto de contacto, por lo que la velocidad angular es puramente tangencial a la superficie. Cuando la esfera llega al plano horizontal,

llamémoslo punto b existe una energía mecánica que es exactamente igual a la energía cinética de rotación alrededor del centro de masa más la energía cinética de traslación del c.m (Zayas, 2018). Esto quiere decir que la energía cinética total de la esfera en b es igual a la ya mencionada energía potencial. Entonces tenemos que, $mgh = \frac{1}{2}mv_b^2 + Iw^2$, donde i es el momento de inercia, y w la velocidad angular al cuadrado.

Todo tipo de figura geométrica tiene su propio momento de inercia respecto a su centro de modo que, en el caso de una esfera, su momento es $\frac{2}{5}mR^2$ (Wilson, 2007, pág. 273) y el cuadrado de la velocidad angular se puede simplemente reescribir como $\frac{v_b^2}{R^2}$, reemplazando I, w , despejando la velocidad final en el punto b se obtiene que $v_b = \sqrt{\frac{10}{7}gh}$. Una vez aquí, la velocidad de la esfera se reducirá debido a la distancia que aún tenga que recorrer en el plano horizontal, hasta colisionar, pero será siempre igual ignorando fuerzas despreciables.

Capítulo 2/ Diseño experimental

2.1 Plan y diseño

2.1.1 Materiales e instrumentos utilizados en el experimento

Para la realización del experimento se implementaron los siguientes materiales:

- Balin de acero de una pulgada de diámetro
- Tubo de PVC de una pulgada y media de diámetro
- Regla 100 cm ($\pm 0,01$ cm)
- Plano inclinado
- Lámina de madera trípex
- Cinta de enmascarar

2.2 Procedimiento

El primer paso para la realización del experimento fue la construcción del montaje, para ello, se ajusta el tubo de PVC al plano inclinado con un ángulo de inclinación de 20° , garantizando la estabilidad y seguridad con cinta de enmascarar. Esto, de tal manera que la parte superior del tubo se encuentre a 0.60 metros de altura y conecte al plano horizontal con un riel dirigido a la superficie de impacto, convergiendo así en una trayectoria lineal y unidimensional. La superficie de impacto consta de una placa de madera trípex para una mejor resistencia, a la cual se le irá aumentando la densidad al añadir capas de cartón corrugado de 1,58mm de ancho. Es importante también mantener la distancia siempre constante, por lo que a medida que aumenten las capas, el mismo ancho que ocupan debe ser añadido a la distancia entre la

superficie de impacto y el punto de salida, conservándose al retroceder el plano inclinado. Posteriormente, el balón de acero se suelta en un extremo del tubo de PVC sin aplicar fuerza, donde al atravesarlo colisiona con la superficie de impacto manteniendo una velocidad similar para cada intento. Una vez el balón esté en reposo, se mide la distancia perpendicular del punto de choque y el centro de la esfera con una regla que tiene una incertidumbre de ($\pm 0,01$ cm). El procedimiento se realiza cinco veces para cada densidad. Al llevar a cabo el experimento es importante controlar ciertas variables como la temperatura, ya que puede modificar la extensión del balón u otros materiales, así como el viento para que no influyesen fuerzas externas y la humedad para no alterar la contextura del cartón corrugado. Para ello, se elaboró todo dentro de un laboratorio, manteniéndose controladas dichas variables. Tal cómo se observa en la siguiente imagen.

Ilustración 1: Imagen de la experiencia



2.3 Variables

Variable dependiente: Distancia de rebote (cm)

Variable independiente: Densidad, número de capas de cartón corrugado de 1,58mm

Variables controladas: Velocidad de impacto, altura, temperatura, viento y humedad.

2.4 Hipótesis

Con esta investigación se pretende corroborar que a medida que aumente la densidad del cartón corrugado, mayor será su absorción en el impacto, por lo que la distancia de rebote disminuirá. Para ello se hallará un modelo matemático con ayuda tecnológica, que se ajuste con precisión a los datos experimentales para después comprobar su efectividad mediante una prueba de hipótesis en Excel.

Capítulo 3/ Análisis de datos

A continuación, se muestran los datos obtenidos en el experimento.

Tabla 1: Distancia de rebote del balón de acero con relación al número de capas de cartón corrugado.

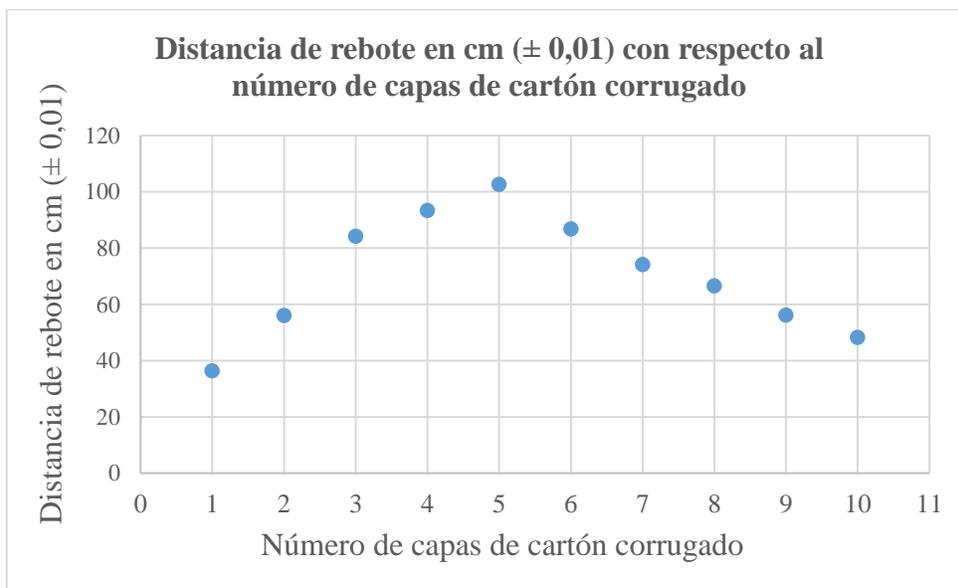
Distancia de rebote en cm ($\pm 0,01$)							
Número de capas de cartón corrugado	Densidad	Intento 1	Intento 2	Intento 3	Intento 4	Intento 5	Promedio
1	1,58 mm	37	37	36	37	35	36,4
2	3,16 mm	57	59	57	53	54	56
3	4,74 mm	83	87	82	81	88	84,2
4	6,32 mm	99	99	87	85	97	93,4
5	7,90 mm	99	104	107	101	102	102,6
6	9,48 mm	83	88	88	85	90	86,8
7	11,06 mm	76	74	77	71	73	74,2
8	12,64 mm	64	64	65	70	70	66,6
9	14,22 mm	53	59	55	56	58	56,2
10	15,80 mm	48	51	50	47	45	48,2

En la tabla 1 se observa la distancia medida con la regla entre la superficie de impacto con diferentes densidades de cartón corrugado y la posición final del balón de acero. Nótese también que el procedimiento se repitió 5 veces por cada densidad de cartón, esto con el fin de reducir el margen de error al promediarlos y obtener un valor lo más cercano al esperado (teórico). Superficialmente, se puede ver cómo a medida que aumenta el número de capas de cartón corrugado, aumenta la distancia de rebote hasta llegar al punto máximo con 5 capas

de cartón corrugado (7,90 mm) y una distancia de 102,6cm, para posteriormente descender con más capas de cartón.

A continuación, se grafica un diagrama de dispersión de los promedios de la distancia de rebote con el respectivo número de capas de cartón corrugado para observar su comportamiento.

Gráfica 1: Diagrama de dispersión de la distancia de rebote del balón de acero con relación al número de capas de cartón corrugado.

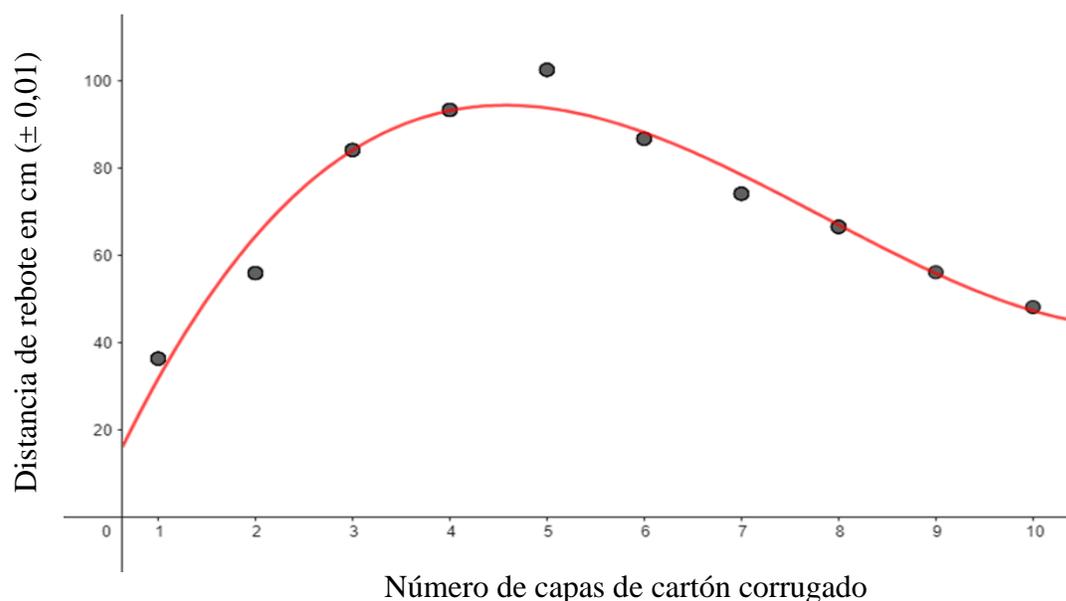


En esta primera gráfica, se puede apreciar como existe variación en la distancia de rebote a medida que aumenta el número de capas de cartón corrugado. A pesar de que en un comienzo hay una correlación positiva entre ambas variables, el punto donde existe la menor absorción de energía es en (5, 102.6), aumentando así lo máximo posible la elasticidad y distancia de rebote en el choque. A partir de este punto, al añadir más capas de material, se observa una mayor absorción del impacto, vista en una menor distancia de rebote.

Se observa también como al realizar un comparativo entre el valor máximo y el mínimo, existe una diferencia significativa de 66,2cm de distancia, esto indica una mayor conservación de energía cinética por parte del balón de acero, permitiendo así recorrer hasta tres veces más la distancia que con una sola capa (1,58 mm).

Hasta este punto de la investigación, se tiene evidencia clara de que la densidad del cartón corrugado influye en la distancia de rebote de un balón de acero. Sin embargo, aún es necesario dar respuesta a la incógnita principal de este trabajo ¿De qué manera influye el número de capas de cartón corrugado de 1,58mm de ancho, en la distancia de rebote de un balón de acero?, y explorar en mayor detalle el impacto del cartón corrugado para fortalecer el análisis. Para esto, mediante GeoGebra, se empleará el diagrama de dispersión ya graficado y se buscará el modelo matemático que indique de manera más precisa el comportamiento para este conjunto de datos.

Gráfico 2: Modelo tecnológico de la distancia de rebote del balón de acero con relación al número de capas de cartón corrugado.



La función que mejor se ajustó a los datos fue la polinómica de grado 3. Para llegar a esta conclusión, se tomaron en cuenta diversos aspectos. El factor determinante fue que se observa como la línea de tendencia muestra una tasa de crecimiento exponencial para los primeros cinco datos, a diferencia de la de decrecimiento que es más paulatina, descartándose así una simetría como en el caso de una función cuadrática. Por otra parte, el punto (5, 102,6) experimental se halla por encima de lo esperado con el modelo, que resulta en un incremento más notable. Sin embargo, la función se ajusta positivamente al resto de datos y permite observar la tendencia en este conjunto, debido a esto se optó por una función polinómica de grado tres. La ecuación cúbica resultante fue la siguiente.

$$y = 0.3678x^3 - 8.642x^2 + 55.966x - 15.9067$$

Esta función polinómica arroja un coeficiente de determinación de 0.9537, determinando así su alta precisión.

A continuación, se elaborará una tabla con los promedios de los resultados experimentales sobre la distancia de rebote junto con las predicciones del modelo para llevar cabo un análisis estadístico y corroborar su exactitud.

Tabla 2: Promedio experimental y tecnológico de distancia de rebote del balón de acero con relación al número de capas de cartón corrugado.

Distancia de rebote en cm ($\pm 0,01$)			
Número de capas de cartón corrugado	Densidad	Promedio real	Modelo polinómico
1	1,58 mm	36,4	31,785
2	3,16 mm	56	64,400
3	4,74 mm	84,2	84,145
4	6,32 mm	93,4	93,227
5	7,90 mm	102,6	93,853
6	9,48 mm	86,8	88,230
7	11,06 mm	74,2	78,566
8	12,64 mm	66,6	67,066
9	14,22 mm	56,2	55,938
10	15,80 mm	48,2	47,389

Gracias a esto, se realizará una prueba F con Excel para determinar si las varianzas de ambas muestras son iguales. Esto se evidencia si el valor $P (F \leq f)$ es mayor a $\alpha = 0.05$.

Prueba F para varianzas de dos muestras		
	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Media	70,46	70,46
Varianza	456,8804444	435,71931
Observaciones	10	10
Grados de libertad	9	9
F	1,048565981	
P(F<=f) una cola	0,472420301	
Valor crítico para F (una cola)	3,178893104	

Cómo el valor de $P(F \leq f) = 0,472 > \alpha = 0,05$, se asume que la diferencia entre las varianzas es cero, por lo que las varianzas son iguales. Teniendo esto en cuenta se procede a llevar a cabo una prueba T para dos muestras suponiendo varianzas iguales, donde

$H_0 = \mu$ Distancia de rebote - μ modelo polinómico

$H_1 = \mu$ datos - μ modelo polinómico $\neq 0$

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales		
	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>
Media	70,46	70,46
Varianza	456,8804444	435,71931
Observaciones	10	10
Varianza agrupada	446,2998766	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	18	
Estadístico t	0	
P(T<=t) una cola	0,5	
Valor crítico de t (una cola)	1,734063607	
P(T<=t) dos colas	1	
Valor crítico de t (dos colas)	2,10092204	

Al analizar la prueba se ve como el valor $P(T \leq t) = 1 > \alpha = 0.05$, por lo que se acepta la hipótesis nula y se corrobora la precisión que tiene el modelo polinómico para modelar el conjunto de datos en este trabajo.

Antes de concluir el análisis, encuentro pertinente explicar la manera en la que la densidad influyó en la distancia de rebote del balón. Para ello hay que tener en cuenta que las propiedades del cartón corrugado. Cuenta con dos capas planas externas y ondulaciones en una capa media que generan un arco muy resistente, permitiendo actuar como amortiguador al absorber golpes externos debido a su estructura ondulada y las canales de aire que esta forma. Al seguir aumentando la densidad del cartón, este absorberá cada vez más el impacto, lo que significa que la energía cinética del balón se disipa en mayor medida y la velocidad después del impacto disminuye. Como resultado, la distancia de rebote también disminuirá. Sin embargo, la absorción nunca llegará a ser total debido a que el cartón corrugado es un material relativamente liviano y flexible, brindándole siempre cierto grado de elasticidad al choque donde este se vea involucrado. Por otra parte, la distancia de rebote con una sola capa de cartón era mínima en comparación al resto, esto se debe principalmente a que en este punto entra en juego la poca elasticidad de la madera tríplice y al añadir capas de corrugado de un grosor de 1,50mm, inicialmente se agrega flexibilidad al choque, prolongando la distancia de rebote recorrida. Posteriormente llega a su máximo de elasticidad, con la densidad de cinco capas (7,90 mm), para posteriormente descender, consecuente de mayor material disponible y una menor compresión, por lo que habrá mayor espacio para que la energía del choque se disipe.

Conclusiones

Tras un íntegro análisis sobre la relación entre la densidad del cartón corrugado y la distancia de rebote de un balón de acero, se puede concluir que el número de capas de cartón corrugado tuvo un impacto en la distancia recorrida del balón después de choque. Esto, gracias a que, a medida que la densidad del cartón aumentaba, se incrementaba también la distancia de rebote para luego reducirse gradualmente. Esto se corroboró mediante un análisis analítico y estadístico y se llegó a la conclusión que la hipótesis adecuada era la alterna, gracias a la elaboración de un modelo matemático y las pruebas de hipótesis en Excel.

La elaboración del análisis de regresión de dos variables fue fundamental para responder a la pregunta de investigación y permitió abordar de manera gráfica la influencia de la densidad del cartón corrugado en la distancia de rebote del balón. Se puede afirmar a su vez, que el desarrollo y argumentos expuestos, se sirvieron con base a lo anteriormente expuesto en el marco teórico de la investigación, junto con el análisis de regresión de las dos variables. Es digno de mención que los materiales empleados, así como el montaje y ejecución del experimento, resultaron idóneos. Este enfoque permitió alcanzar con éxito los objetivos del trabajo.

Entre las limitaciones de la investigación, cabe resaltar que solo se impactó a las diferentes densidades de cartón corrugado con un balón de acero a una velocidad fija y relativamente baja. En futuras investigaciones sería interesante analizar su comportamiento con velocidades más altas y observar hasta que punto es capaz conservar su forma sin deformarse. ¿Una mayor velocidad implica una mayor desaceleración generada por el cartón

o este actuará de manera más elástica? De esta manera podrían estudiarse sus propiedades para colisiones más fuertes.

Con base en esta investigación, notamos cómo para impactos de bajo calibre, la densidad optima es de cinco capas de cartón corrugado de 1,58mm (7,90 mm), ofreciendo la mayor elasticidad, evitándose así una mayor absorción del impacto. Ideal para escenarios de embalaje de objetos de la manera más económica. No obstante, en escenarios donde es necesario una protección adicional, como el embalaje de productos frágiles y/o pesados, una mayor densidad contribuye en una resistencia mayor, por lo tanto, una seguridad más eficiente.

Referencias

Cajal, A. (2019). *Coeficiente de restitución: concepto, fórmula, cálculo, ejemplo*.

Lifeder. <https://www.lifeder.com/coeficiente-de-restitucion/>

Halliday, R. (2020). *Halliday and Resnick's Principles of Physics, 11th Edition*.

John Wiley & Sons Ltd.

Moebs, W., Ling, S. J., & Sanny, J. (2021). *12.4 Elasticidad y plasticidad -Física*

universitaria volumen 1 | OpenStax. <https://openstax.org/books/f%C3%ADsica->

[universitaria-volumen-1/pages/12-4-elasticidad-y-plasticidad](https://openstax.org/books/f%C3%ADsica-universitaria-volumen-1/pages/12-4-elasticidad-y-plasticidad)

Saludjian, M. (s. f.). *Perspectiva global para el cartón corrugado: ¿Cómo se ve el*

mercado en los próximos dos años? | CAFCCo. <https://cafcco.com.ar/perspectiva->

[global-para-el-carton-corrugado-como-se-ve-el-mercado-en-los-proximos-dos-](https://cafcco.com.ar/perspectiva-global-para-el-carton-corrugado-como-se-ve-el-mercado-en-los-proximos-dos-)

[anos/](https://cafcco.com.ar/perspectiva-global-para-el-carton-corrugado-como-se-ve-el-mercado-en-los-proximos-dos-anos/)

Serway y Jewett, J. (2008). *Física para ciencias e ingeniería con física moderna*.

CengageLearning

Wilson, B. L. (2007). *Física sexta edición*. México: Pearson.

Zayas, M. (2018, 1 julio). *ESFERA SÓLIDA QUE RUEDA POR UN PLANO INCLINADO*. [Vídeo]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=Qs5oaYzFciI>

Anexos

