Química y selección de materiales

1 Función y estructura de los materiales

El resorte almacena energía; el brazo y la cazoleta deben mover la pelota sin añadir masa innecesaria. Los soportes mantienen la posición del eje y la base recibe las fijaciones. Se comparan los materiales según esas funciones. La distinción entre rigidez y límite elástico evita elegir un material solo porque resulte difícil deformarlo (Moebs et al., 2016).

En los metales, los electrones deslocalizados y la estructura cristalina permiten explicar conductividad y deformación. El comportamiento de un resorte depende además del procesamiento del alambre, la microestructura y los esfuerzos residuales. Una misma familia química puede ofrecer propiedades distintas después del trefilado o del tratamiento térmico. La geometría y el módulo elástico intervienen en la rigidez del muelle; los esfuerzos y el servicio esperado condicionan su selección (Moebs et al., 2016; Tokai Spring Industries, s. f.).

2 Acero propuesto para el elemento impulsor

La identificación química debe empezar por distinguir elemento, aleación y producto comercial. Fe es el símbolo del hierro; acero designa una aleación basada en hierro y carbono, con otros elementos según el grado. A228 identifica una especificación de alambre para resortes. Un acabado brillante, una capa de pintura o la palabra comercial cromado no demuestran que el núcleo sea acero inoxidable ni determinan su contenido de Cr. Para esta catapulta, el material del nuevo resorte se mantiene por identificar. La especificación A227 y la A228 no se consideran denominaciones intercambiables; debe identificarse el alambre del resorte adquirido (ASTM International, 2024).

ASTM A228/A228M describe alambre de calidad para resortes que pueden trabajar con esfuerzos altos o exigir propiedades de fatiga. La ficha pública de la norma indica el tipo de producto y la necesidad de cumplir requisitos químicos. La edición consultada es A228/A228M-18(2024)e1. Esta referencia orienta la identificación del proveedor y no certifica un muelle que todavía no se ha adquirido (ASTM International, 2024).

La ficha de Gibbs Interwire para music wire fosfatado presenta rangos de C, Mn y Si, límites máximos de P y S y Fe como resto. Su tabla de resistencia cambia con el diámetro del alambre. Por ello, asignar una sola resistencia a todo acero A228 ocultaría una variable del producto (Gibbs Interwire, s. f.).

Tabla 1

Porcentajes en masa de alambre A228 según ficha Gibbs

Elemento	**Símbolo**	**Rango o máximo**
Carbono	C	0,70–1,00 %
Manganeso	Mn	0,20–0,70 %
Silicio	Si	0,10–0,30 %
Fósforo	P	≤0,025 %
Azufre	S	≤0,030 %
Hierro	Fe	Resto

Nota. Rangos de especificación referenciales. La pieza real exige identificación del proveedor (Gibbs Interwire, s. f.).

El carbono interviene en la microestructura y en el equilibrio entre resistencia y ductilidad. Manganeso y silicio contribuyen al comportamiento del acero y a su procesamiento. Los contenidos de fósforo y azufre se limitan en el producto especificado. El hierro se expresa como resto porque los rangos de una especificación no describen una receta única que deba sumar exactamente 100 % con todos los máximos a la vez.

Como ejercicio de lectura de la tabla, una composición hipotética de C = 0,80 %, Mn = 0,45 %, Si = 0,20 %, P = 0,015 % y S = 0,020 % deja Fe = 98,515 % si se omiten otros constituyentes. Se obtiene restando 1,485 % a 100 %. Los valores elegidos están dentro de los intervalos de la ficha, pero la mezcla es un ejemplo aritmético del equipo: no es un análisis de laboratorio ni una formulación certificada del fabricante. Si existieran otros elementos, también tendrían que descontarse del resto.

3 Flexión del alambre y fatiga

El nombre torsional se refiere al momento que ejerce el muelle sobre el mecanismo. En un muelle helicoidal de torsión, la solicitación principal del alambre se estudia como flexión. Las patas del resorte también pueden deformarse. Para escogerlo se debe solicitar curva momento–ángulo, sentido de carga, ángulo máximo, diámetro interior bajo carga y especificación de vida o servicio (Tokai Spring Industries, s. f.).

La fatiga implica evolución del daño bajo ciclos, incluso si la pieza recupera aparentemente su forma en las primeras pruebas. La concentración de esfuerzos en un contacto, una marca superficial o una curva cerrada puede acelerar una falla. El plano mantiene el muelle como un componente por seleccionar y evita deducir su resistencia a partir del volumen reservado (Gibbs Interwire, s. f.).

4 Madera contrachapada y MDF

La madera reúne celulosa, hemicelulosas, lignina y otros constituyentes. Sus propiedades también dependen de cómo se organiza ese material. Stark y Cai distinguen tableros fabricados con chapas, partículas y fibras; esa diferencia permite entender por qué contrachapado y MDF no se intercambian en el diseño usando solo el mismo espesor (Stark & Cai, 2021).

El contrachapado alterna orientaciones de chapa y contiene adhesivo. Esa estructura permite distribuir direcciones resistentes, pero conserva anisotropía y dependencia de humedad. Wang et al. (2024) ensayaron distintas orientaciones y condiciones higrométricas en un producto identificado. En el proyecto se extrae la necesidad de controlar esas variables, sin adoptar una resistencia de abedul para un tablero desconocido.

El MDF se fabrica con fibras y un sistema aglutinante. Stark y Cai describen cómo la materia prima, la densidad y los adhesivos intervienen en los tableros compuestos. En la catapulta se reserva para la base de 22 mm; antes del armado se comprobarán el apoyo y la fijación de los tornillos. El trabajo de Charuk et al. sobre contrachapado se utiliza como antecedente de caracterización dinámica de un producto distinto, no como ensayo del MDF (Charuk et al., 2024; Stark & Cai, 2021).

Stark y Cai describen sistemas aglutinantes diferentes para los tableros, entre ellos resinas de urea-formaldehído, fenol-formaldehído, melamina-formaldehído e isocianatos. La clase de

adhesivo influye en la selección del producto. No se asignará uno de esos sistemas al MDF disponible sin una ficha que lo identifique (Stark & Cai, 2021).

5 Porcentajes elementales de polímeros

NIOSH identifica la fórmula de la unidad de celulosa como $C_6H_{10}O_5$. El cálculo estequiométrico se realiza con masas atómicas convencionales C = 12,011, H = 1,008 y O = 15,999. La masa de la unidad es 162,141 g/mol. Los porcentajes se obtienen dividiendo la masa de cada elemento por esa masa total (National Institute for Occupational Safety and Health, 2019).

$$w_C = \frac{6A_C}{6A_C+10A_H+5A_O} \times 100 \quad (1)$$

Tabla 2

Porcentajes elementales calculados en unidades repetitivas ideales

Unidad	**Elementos**	**Porcentaje en masa**
Celulosa $C_6H_{10}O_5$	C	44,45 %
Celulosa $C_6H_{10}O_5$	H	6,22 %
Celulosa $C_6H_{10}O_5$	O	49,34 %
PP C_3H_6	C	85,63 %
PP C_3H_6	H	14,37 %

Nota. Redondeo a dos decimales. Los porcentajes pertenecen a las unidades ideales y no incluyen aditivos, humedad ni adhesivos.

Los porcentajes calculados describen una unidad ideal de celulosa o de polipropileno. No representan la composición completa del MDF, del contrachapado ni de una pieza plástica con pigmento o carga mineral. La ficha de PubChem para polipropileno identifica su unidad repetitiva C_3H_6. Se propone estudiar PP para la cazoleta, pero la masa de 4 g sigue siendo una hipótesis de diseño (National Center for Biotechnology Information, s. f.).

6 Aluminio como alternativa para el brazo

El aluminio 6061 se compara como alternativa de brazo por su relación entre masa y rigidez, facilidad de obtener perfiles y resistencia a corrosión en aplicaciones comunes. La ficha de BlueScope proporciona rangos de composición y distingue estados térmicos del producto. El estado T6 y el estado T4 no deben tratarse como materiales con la misma resistencia aunque compartan la designación 6061 (BlueScope Distribution, s. f.).

Tabla 3

Composición referencial de aluminio 6061

Elemento	**Símbolo**	**% en masa**
Magnesio	Mg	0,8–1,2
Silicio	Si	0,4–0,8
Cobre	Cu	0,15–0,40
Cromo	Cr	0,04–0,35
Hierro	Fe	≤0,70
Manganeso	Mn	≤0,15
Zinc	Zn	≤0,25
Titanio	Ti	≤0,15
Aluminio	Al	Resto

Nota. Datos de catálogo de BlueScope Distribution (s. f.). Los máximos no se suman como composición de una única muestra.

La comparación debe hacerse entre piezas que satisfagan la misma función y no entre densidades aisladas. Un perfil de aluminio delgado puede reducir volumen frente a una pieza de madera, pero cambia el método de unión, la masa alrededor del eje y el costo. Para este avance se conserva el contrachapado por sencillez de montaje y se mantiene la alternativa como ejercicio de selección.

7 Corrosión y protección

AMPP describe la corrosión como un proceso de deterioro relacionado con la interacción del material y su entorno. En el acero expuesto, la humedad y el oxígeno permiten procesos electroquímicos. La inspección del alambre y del eje debe observar corrosión y daño superficial, especialmente en contactos donde puede desgastarse un recubrimiento (Association for Materials Protection and Performance, s. f.).

Cuando se combinan metales diferentes, la presencia de un electrolito puede favorecer corrosión galvánica. La elección de arandelas, separadores y protección requiere considerar el contacto entre materiales y las condiciones de almacenamiento. La propuesta prioriza guardar el dispositivo seco, limpiar residuos y evitar modificar el muelle comercial con calor o soldadura sin la especificación correspondiente.

8 Ficha comparativa del material impulsor

Tabla 4

Comparación funcional de elementos elásticos

Elemento	**Ventaja para el estudio**	**Variable por verificar**
Resorte angular de acero	Relación momento–ángulo y montaje junto al eje	K, referencia, giro admisible, fatiga
Liga o látex	Disponibilidad y montaje inicial sencillo	Histéresis, envejecimiento, fuerza y longitud
Lámina flexible	Menor número de uniones	Curvatura, rigidez y concentración de esfuerzos

Se mantiene como primera opción un resorte angular comercial porque puede caracterizarse mediante momento y ángulo. Tokai Spring proporciona relaciones para estudiar esa respuesta. La decisión exige después una referencia de compra y su giro admisible. La comparación con látex queda como alternativa de diseño, sin asignarle una curva elástica que no se ha medido (Tokai Spring Industries, s. f.).

9 Química de la corrosión del eje y del resorte

La corrosión del hierro puede interpretarse como un proceso de oxidación y reducción. Una zona pierde electrones mientras otra los consume. Flowers et al. (2019), en la sección 17.6, explican la participación del oxígeno y del agua y señalan que la herrumbre no forma una barrera protectora eficaz como algunas películas pasivas. Para relacionar ese fundamento con el dispositivo se presenta una representación simplificada en medio acuoso aproximadamente neutro:

Oxidación anódica: $Fe(s) \rightarrow Fe^{2+}(aq) + 2e^{-}$.

Reducción catódica: $O_2(g) + 2H_2O(l) + 4e^{-} \rightarrow 4OH^{-}(aq)$.

Precipitación inicial idealizada: $Fe^{2+}(aq) + 2OH^{-}(aq) \rightarrow Fe(OH)_2(s)$.

Cada semirreacción conserva átomos y carga. Al multiplicar la oxidación por dos, los cuatro electrones producidos pueden compensar los consumidos en la reducción. Las transformaciones posteriores generan productos de corrosión cuya composición depende del ambiente. Por ello, el sólido real no se identifica como una sustancia pura mediante una fotografía. Estas ecuaciones explican un mecanismo químico; no predicen por sí solas la velocidad de corrosión del equipo (Flowers et al., 2019).

La aplicación al proyecto consiste en examinar el eje, los puntos de apoyo y las zonas de contacto del muelle. Una superficie húmeda o un recubrimiento dañado exige registrar la condición antes de comparar tiros. La pintura actúa como barrera mientras permanezca íntegra; el galvanizado utiliza zinc y puede aportar protección sacrificial. No se consideran tratamientos equivalentes ni se propone aplicar un proceso químico artesanal al resorte comprado (Flowers et al., 2019).

10 Diferenciar cambios químicos y daños mecánicos

Un alcance menor puede tener causas distintas. Si queda un cambio permanente de posición al descargar el brazo, se investigará deformación o asentamiento. Si aparecen grietas después de ciclos, se investigará fatiga. Si hay productos de oxidación, se investigará corrosión. Si el tablero aumenta de espesor después de exposición a humedad, se examinará su interacción

con agua y el estado de las uniones. Estas son hipótesis de diagnóstico para el proyecto; una observación aislada no permite demostrar la causa.

La relación entre las materias aparece al comparar la curva de carga con la de descarga. Una diferencia entre ambas puede representar energía disipada por fricción o por el comportamiento del conjunto. No demuestra por sí sola que exista una reacción química. De igual forma, recuperar la geometría durante algunos ciclos no prueba una vida útil indefinida. Tokai Spring aporta el modelo de cálculo del muelle; la validación del componente exige su especificación y mediciones de servicio (Moebs et al., 2016; Tokai Spring Industries, s. f.).

En la madera conviene distinguir la composición elemental de la arquitectura del tablero. Los porcentajes calculados para celulosa no indican cuánto adhesivo contiene el MDF, ni la especie o la orientación de las chapas. Wang et al. (2024) muestran experimentalmente la importancia de humedad y orientación en contrachapado identificado. Su estudio apoya controlar esas condiciones; sus resistencias no se asignan a un tablero local desconocido.

11 Protocolo de caracterización de los materiales

Se propone una ficha por componente con proveedor, referencia, material declarado, acabado, dimensiones, masa y evidencia disponible. La evidencia se clasificará como dato de fabricante, medición del equipo o supuesto. Para el resorte se pedirá la curva momento–ángulo y el giro autorizado. Para el tablero se registrarán tipo, espesor y orientación. Para la cazoleta se anotará la identificación del polímero cuando exista. Una marca de reciclaje orienta sobre la familia, pero no revela todos los aditivos.

La composición exacta de una pieza metálica requiere una técnica analítica adecuada. Si se accede a un laboratorio, la solicitud debe especificar los elementos de interés, especialmente carbono cuando se pretenda identificar un acero. El informe del laboratorio deberá indicar método y limitaciones. Una prueba con imán o una inspección visual no sustituye la determinación cuantitativa de los porcentajes. Mientras esa evidencia no exista, la tabla química conservará el carácter referencial.

La comparación de corrosión puede iniciarse con fotografías tomadas bajo iluminación semejante y con una escala, registrando lugar y tiempo de almacenamiento. Se anotarán manchas, desprendimiento del recubrimiento y cambios en las zonas de contacto. No se

provocará corrosión en el muelle de servicio para obtener una fotografía. Si se planifica un ensayo comparativo, se usarán probetas separadas e identificadas. La pérdida de masa solo se interpretará si existe un procedimiento de limpieza y pesaje controlado; el óxido adherido puede aumentar la masa antes de retirarlo (Association for Materials Protection and Performance, s. f.).

Para el tablero se medirán masa y espesor en puntos marcados antes de su uso y después del almacenamiento habitual. Esa comparación permite detectar cambios, pero no mide directamente contenido de humedad ni identifica la composición del adhesivo. Los resultados se registrarán junto con las condiciones observadas. Si se requiere humedad en base seca, se deberá aplicar un procedimiento gravimétrico apropiado al producto y a las instalaciones disponibles.

12 Conclusiones del análisis químico

La elección provisional combina un resorte comercial de acero identificado, contrachapado para el brazo y los soportes, MDF para la base y un polímero identificado para la cazoleta. La química contribuye al explicar composición, interacción con el ambiente y mecanismos de deterioro. La aceptación final también depende de masa, geometría, unión y comportamiento medido. Ningún porcentaje aislado demuestra que una pieza soporte el trabajo propuesto.

Las tablas de A228 y 6061 permiten comparar especificaciones; los porcentajes de celulosa y PP permiten practicar estequiometría. Son tipos de información diferentes. Se recomienda completar primero la trazabilidad del resorte y del tablero, registrar el acabado del eje y conservar el dispositivo seco. Después se contrastarán la curva elástica y la repetibilidad con los valores del programa. Esa secuencia permite revisar la selección sin presentar un material supuesto como si ya estuviera certificado.

Referencias

Association for Materials Protection and Performance. (s. f.). *What is corrosion.* https://www.ampp.org/technical-research/what-is-corrosion

ASTM International. (2024). *Standard specification for steel wire music spring quality (ASTM A228/A228M-18(2024)e1) [Ficha pública].* https://store.astm.org/a0228_a0228m-18r24e01.html

BlueScope Distribution. (s. f.). *Aluminium 6061 data sheet.* https://www.bluescopedistribution.com.au/products/aluminium/aluminium-6061-data-sheet/

Charuk, A., Gawdzińska, K., & Dunaj, P. (2024). Finite element modeling of the dynamic response of plywood. *Materials, 17*(17), 4358. https://doi.org/10.3390/ma17174358

Flowers, P., Theopold, K., Langley, R., & Robinson, W. R. (2019). *Chemistry 2e*. OpenStax. Sección 17.6 Corrosion. https://openstax.org/books/chemistry-2e/pages/17-6-corrosion

Gibbs Interwire. (s. f.). *Phosphate coated music wire [Ficha técnica].* https://www.gibbswire.com/wp-content/uploads/2023/03/Gibbs-Datasheet-Wire-18-Phosphate-Coated-1.pdf

Moebs, W., Ling, S. J., & Sanny, J. (2016). *University physics volume 1*. OpenStax. https://openstax.org/books/university-physics-volume-1/pages/1-introduction

National Center for Biotechnology Information. (s. f.). *Polypropylene*. PubChem. https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Polypropylene

National Institute for Occupational Safety and Health. (2019). *Cellulose*. NIOSH pocket guide to chemical hazards. Centers for Disease Control and Prevention. https://www.cdc.gov/niosh/npg/npgd0110.html

Stark, N. M., & Cai, Z. (2021). *Wood-based composite materials: Panel products, glued laminated timber, structural composite lumber, and wood–nonwood composites*. En Wood handbook—Wood as an engineering material (cap. 11, pp. 11-1–11-29, FPL-GTR-282). U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. https://research.fs.usda.gov/treesearch/62258

Tokai Spring Industries. (s. f.). *Torsion springs Calculation formulas.* https://www.tokaibane.com/en/spring-design/torsion-springs-formulas

Wang, Y., Wang, T., Crocetti, R., & Wålinder, M. (2024). Effect of moisture on the edgewise flexural properties of acetylated and unmodified birch plywood: a comparison of strength, stiffness and brittleness properties. *European Journal of Wood and Wood Products, 82*, 341–355. https://doi.org/10.1007/s00107-023-02014-6