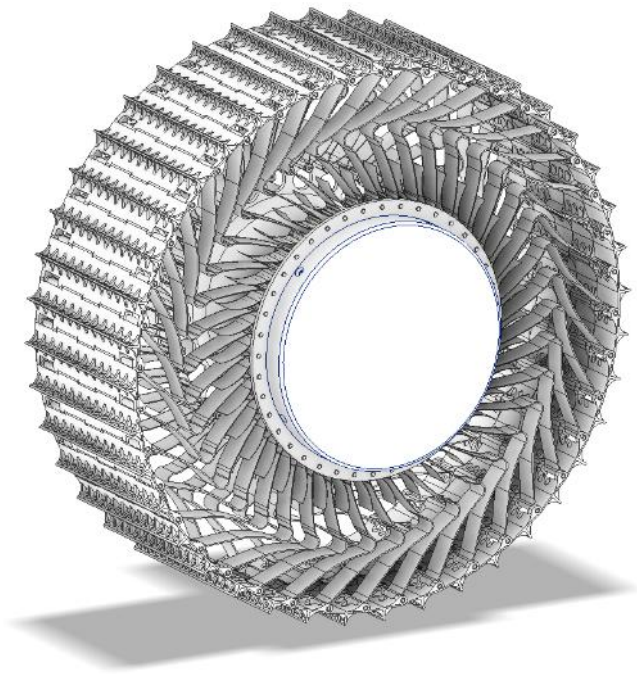

HTR

Hellenic Technology of Robotics

Manual del usuario de la rueda lunar sin buje

Documento técnico

Manual del usuario



Versión: v11.0

30/10/2025



ÍNDICE

1	PANORAMA GENERAL	6
1.1	Presentación de documentos.....	6
2	LA RUEDA FLEXIBLE LUNAR HTR SIN BUJE	8
2.1	Características de la rueda lunar sin buje.....	8
2.2	Materiales.....	10
2.3	Especificaciones.....	10
2.4	Galería fotográfica	11
2.5	Planes.....	13
3	RESISTENCIA Y DESGASTE	15
4	MANTENIMIENTO Y SEGURIDAD	16
4.1	Mantenimiento ordinario	16
5	SCENARIOS TÍPICOS DE APLICACIÓN: INTERCONEXIÓN DE LA RUEDA CON EL ROVER	17
6	PREGUNTAS FRECUENTES	20
6.1	Vídeos relacionados.....	25

TABLA DE CIFRAS

Figura 1-1: La rueda lunar sin buje HTR con cubierta frontal protectora (tal como se envía).	6
Figura 1-2: Rueda sin cubo con brida de montaje (desde donde se transmite el movimiento), tal como se suministra (dimensiones de los orificios de interfaz como en los planos siguientes, capítulo 5).	7
Figura 2-1: Rueda CCW (izquierda) y rueda CW (derecha) tal como se envían. La dirección preferente de movimiento se muestra con una flecha en la cubierta de la rueda.	9
Figura 2-2: Gráfico comparativo del rendimiento de tracción de las ruedas HTR (línea de puntos, que alcanzan una carga de 0,4 en la barra de tracción/eje con una relación de deslizamiento del 20%), en comparación con las ruedas Ti NI de la NASA (línea azul, que alcanzan una carga de 0,25 en la barra de tracción/eje con una relación de deslizamiento del 40%) y las ruedas rígidas MSL del JPL (línea roja, que alcanzan una carga de 0,18 en la barra de tracción/eje con una relación de deslizamiento del 70%).	9
Figura 2-3: Pruebas de ruedas HTR en las instalaciones de ensayo de ASTROBOTIC (GRC-1).	10
Figura 2-4: Rueda sin buje que se deforma al subir una piedra.	11
Figura 2-5: Rueda sin buje que se deforma al subir una piedra.	12
Figura 2-6: Rueda sin buje sometida a una carga estática de 710 N que muestra una deformación completa.	12
Figura 2-7: Lado plano sin buje y vía.	13
Figura 2-8: Vía de ruedas sin buje y sección B-B a escala 1/2.	14
Figura 3-1: Montaje de las ruedas y resultados de las pruebas.	15
Figura 5-1: Vista frontal de la brida de montaje de la rueda.	17
Figura 5-2: Vista lateral de la brida de montaje de la rueda.	17
Figura 5-3: Vista lateral de la interfaz de montaje de la rueda.	18
Figura 5-4: Vista en corte de la interfaz de montaje de la rueda.	18
Figura 5-5: Ejemplo de alimentación de la rueda a través de un eje que sale del chasis de un rover.	19
Figura 5-6: Ejemplo de accionamiento de la rueda a través de un eje, con el motor situado en el interior del chasis del vehículo.	19
Figura 6-1: Rueda: Rotación CW.	20
Figura 6-2: Rueda: Rotación CCW.	20
Figura 6-3: Desmontaje del segmento de la llanta/tornillo del eje del muelle.	21
Figura 6-4: Desmontaje del tornillo del cubo del muelle.	22
Figura 6-5: Retirada del segmento de la llanta.	22



Figura 6-6: Vista general del montaje de la rueda sin buje, el buje motorizado HTR y el rover HTR.24

Figura 6-7: El chasis rover HTR con 4 ruedas montadas.25



LISTA DE CUADROS

Cuadro 2-1: Características principales de la rueda sin buje HTR. 11

Registro de modificación de documentos.

Versión	Fecha	Descripción	Secciones afectadas
1.0	13/05/2025	Primer borrador	Todos
2.0	15/05/2025	Primer borrador	Capítulo 2
3.0	19/05/2025	Borrador avanzado	Capítulo 2 y 3
4.0	21/05/2025	Borrador avanzado	Capítulo 3
5.0	25/05/2025	Borrador avanzado	Capítulo 4 y 5
6.0	29/05/2025	Borrador avanzado	Todos
7.0	01/06/2025	Borrador avanzado	Dar formato al texto
8.0	02/06/2025	Borrador final	Todas las cifras
9.0	03/06/2025	Borrador final	Capítulo añadido
10.0	03/06/2025	Borrador final	Actualización de leyendas y referencias añadidas
11.0	30/10/2025	Final	Todos



La rueda lunar sin buje HTR sin cubierta frontal.

1 PANORAMA GENERAL

1.1 Presentación de documentos

La estructura de este documento es la siguiente:

- El capítulo 1 presenta el documento.
- El capítulo 2 ofrece información sobre la rueda.
- El capítulo 3 ofrece información sobre la resistencia y el desgaste de la rueda.
- El capítulo 4 ofrece consejos de mantenimiento.
- En el capítulo 5 se presentan escenarios de aplicación típicos: Conexión de la Rueda con el Rover.
- El capítulo 6 ofrece una lista de preguntas frecuentes.



Figura 1-1: La rueda lunar sin buje HTR con cubierta frontal protectora (tal como se envía).

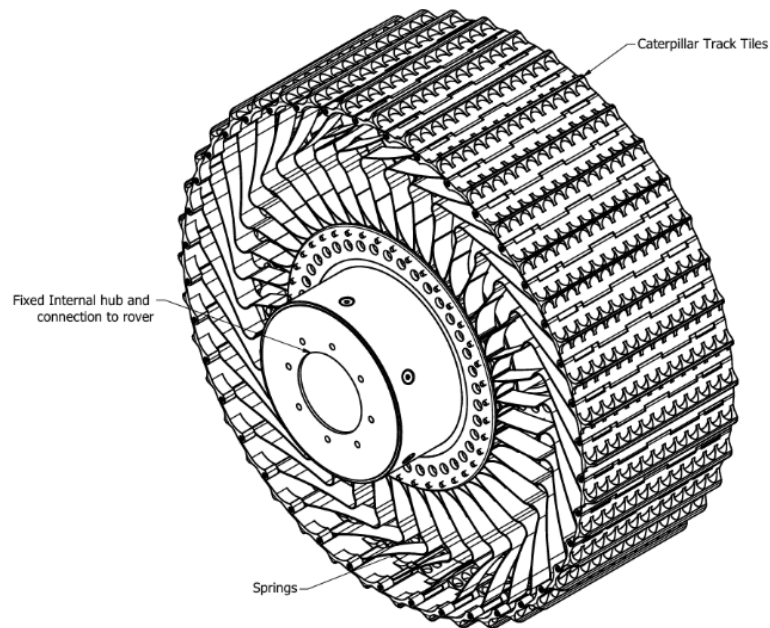


Figura 1-2: Rueda sin cubo con brida de montaje (desde donde se transmite el movimiento), tal como se suministra (dimensiones de los orificios de interfaz como en los planos siguientes, capítulo 5).

2 LA RUEDA FLEXIBLE LUNAR HTR SIN BUJE

En este capítulo se presentan las principales propiedades y características de la rueda lunar sin buje HTR.

2.1 Características de la rueda lunar sin buje

La rueda es el equivalente más cercano a una rueda de vuelo que puede sobrevivir al entorno lunar. Operar su rover con estas ruedas le proporcionará el comportamiento más parecido posible de su máquina en un paisaje lunar. El rendimiento de la rueda es asombroso, incluso en comparación con los neumáticos de goma. De hecho, la rueda se comporta como una oruga, abrazando las irregularidades del terreno y absorbiendo los impactos. El funcionamiento resultante es extremadamente suave, como también puede verse en los vídeos (lista al final del documento)

La rueda viene en 2 opciones de rigidez del muelle: 06 y 08.

Las ruedas 06 y 08 también varían automáticamente su rigidez durante el funcionamiento: La rigidez aumenta cuando la rueda genera un par mayor, en relación con el suelo. Es decir, cuanto más duro es el suelo, mayor es la rigidez que puede alcanzar la rueda (dentro de un rango predefinido). Esto aumenta aún más la adaptabilidad y la eficacia de la rueda.

La rueda 06 está diseñada para soportar una carga menor (150 N) en comparación con el tipo de rueda 08, que puede soportar una carga de 250 N. La rueda 06 es más adecuada para suelos muy sueltos (GRC-1), mientras que la rueda 08 está diseñada para suelos que soportan mayores presiones sobre el suelo.

Las ruedas tienen una dirección preferente de movimiento. Esto se debe a la adaptación automática de la rigidez, que funcionará correctamente si la rueda se acciona a lo largo de su dirección preferente de movimiento. Recomendamos aplicar esta dirección como la dirección de avance de su vehículo. Por lo tanto, para su uso en un rover de 4 ruedas, debe utilizar 2 ruedas con dirección preferente de movimiento en el sentido de las agujas del reloj y 2 ruedas con dirección preferente de movimiento en sentido contrario a las agujas del reloj. La dirección preferencial de movimiento se muestra en cada cubierta de la rueda (figura siguiente)



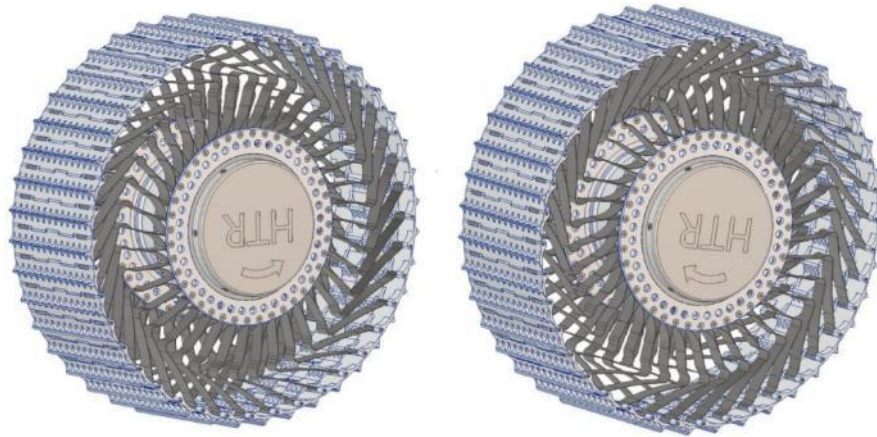


Figura 2-1: Rueda CCW (izquierda) y rueda CW (derecha) tal como se envían. La dirección preferente de movimiento se muestra con una flecha en la cubierta de la rueda.

Las ruedas exhiben una tracción excepcional en suelos sueltos, superando el rendimiento de las ruedas rígidas y también de las ruedas Ti Ni de la NASA. Los siguientes gráficos comparativos demuestran la diferencia:

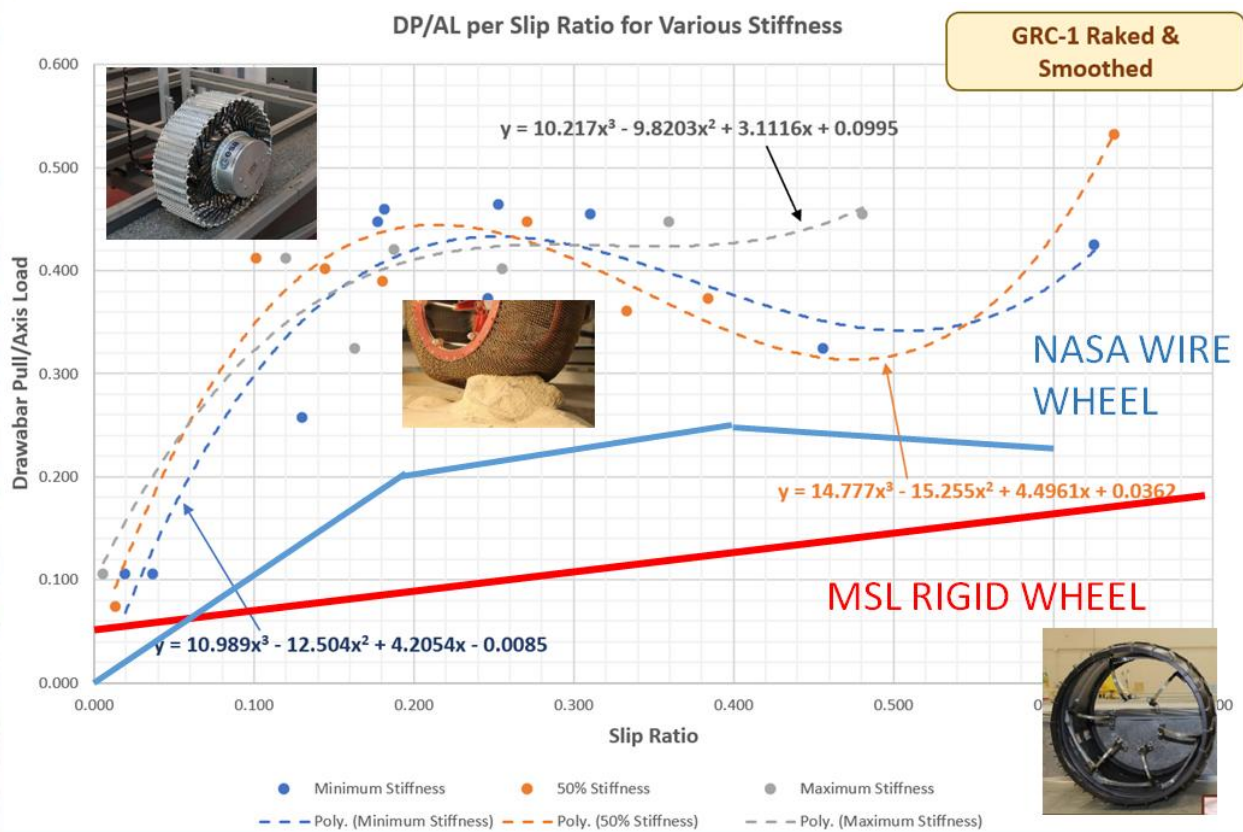


Figura 2-2: Gráfico comparativo del rendimiento de tracción de las ruedas HTR (línea de puntos, que alcanzan una carga de 0,4 en la barra de tracción/eje con una relación de deslizamiento del 20%), en comparación con las ruedas Ti Ni de la NASA (línea azul, que alcanzan una carga de 0,25

en la barra de tracción/eje con una relación de deslizamiento del 40%) y las ruedas rígidas MSL del JPL (línea roja, que alcanzan una carga de 0,18 en la barra de tracción/eje con una relación de deslizamiento del 70%).

Todos los resultados de las pruebas anteriores se refieren al suelo análogo lunar GRC-1.

Todas las pruebas de ruedas de HTR del gráfico anterior se han realizado en GRC-1, ya que HTR ha llevado a cabo dichas pruebas en las instalaciones de pruebas de ASTROBOTIC en 2021..

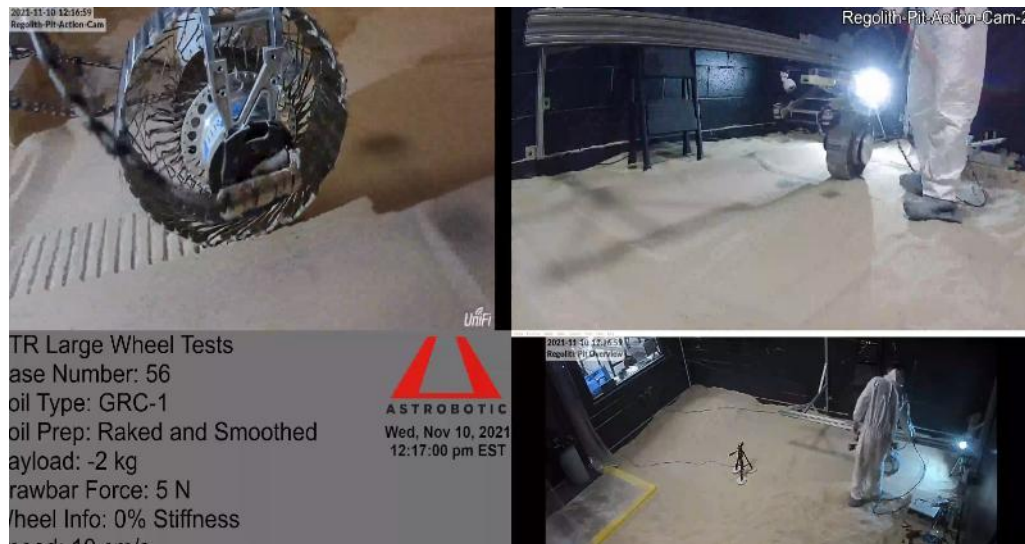


Figura 2-3: Pruebas de ruedas HTR en las instalaciones de ensayo de ASTROBOTIC (GRC-1).

2.2 Materiales

Las ruedas están fabricadas íntegramente con materiales criorresistentes y resistentes a la corrosión. Por ello, pueden utilizarse a temperaturas extremadamente bajas (menos 180oC) o altas (más 150oC) sin que se degraden sus prestaciones. Aunque las ruedas vendidas no han superado las pruebas de cualificación de vuelo, están construidas exactamente igual que las ruedas que sí lo están. Sin embargo, los adhesivos utilizados no son aptos para el vuelo.

2.3 Especificaciones

Especificaciones		
Parámetro	Valor/Descripción	
Rueda	Diámetro	360 mm
	Ancho de la baldosa	130 mm
	Anchura total incluidos los cubos	184 mm
	Rigidez radial	Variable, de 2500N/m a 10000N/m (medido como desplazamiento del cubo)
Masa	3.8 kg	
Velocidad máxima	15 Km/h	

Especificaciones

Par máximo en el eje de la rueda	70 Nm
Carga máxima por rueda (operativa) para tipo 06	150N
Carga máxima por rueda (operativa) para tipo 08	250N
Carga máxima por rueda (estática) para tipo 06	700N
Carga máxima por rueda (estática) para tipo 08	800N

Cuadro 2-1: Características principales de la rueda sin buje HTR.

Depósito:

El funcionamiento de las ruedas del tipo 06 durante períodos prolongados con cargas superiores a 150 N puede dañar gradualmente los muelles y provocar su rotura. Del mismo modo, el funcionamiento de las ruedas del tipo 08 durante períodos prolongados con cargas superiores a 250 N también puede acortar la vida útil de los muelles. Es posible que estos daños no se manifiesten inmediatamente, sino a lo largo de varios miles de ciclos.

- - Cómo pedir las ruedas:

La rueda sin buje debe pedirse según las 4 opciones siguientes:

RUEDA SIN BUJE 06 EN EL SENTIDO DE LAS AGUJAS DEL RELOJ

RUEDA SIN BUJE 06 EN EL SENTIDO CONTRARIO A LAS AGUJAS DEL RELOJ

RUEDA SIN BUJE 08 EN EL SENTIDO DE LAS AGUJAS DEL RELOJ

RUEDA SIN BUJE 08 EN SENTIDO ANTIHORARIO

2.4 Galería fotográfica



Figura 2-4: Rueda sin buje que se deforma al subir una piedra.



Figura 2-5: Rueda sin buje que se deforma al subir una piedra.



Figura 2-6: Rueda sin buje sometida a una carga estática de 710 N que muestra una deformación completa.

2.5 Planes

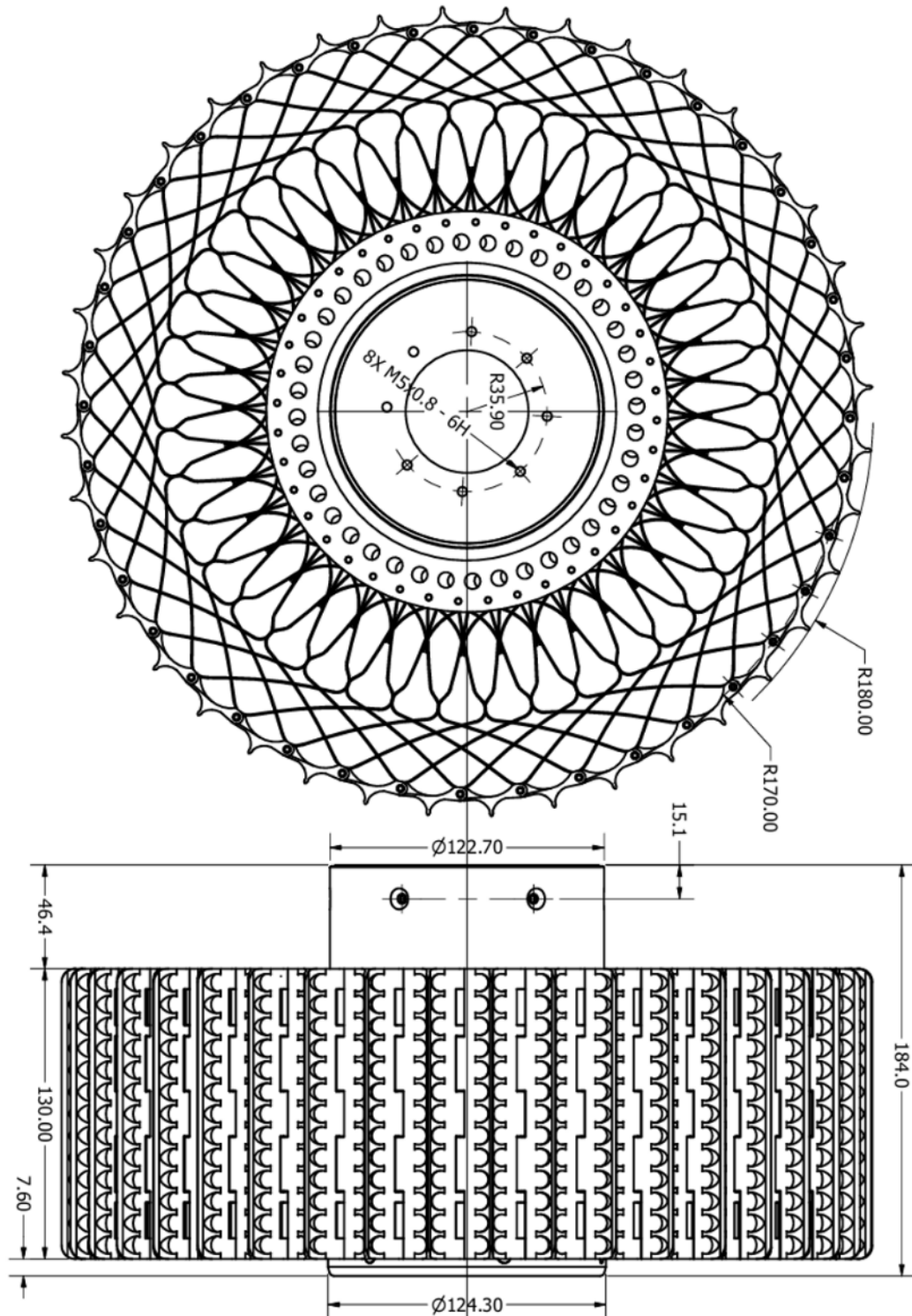


Figura 2-7: Lado plano sin buje y vía.

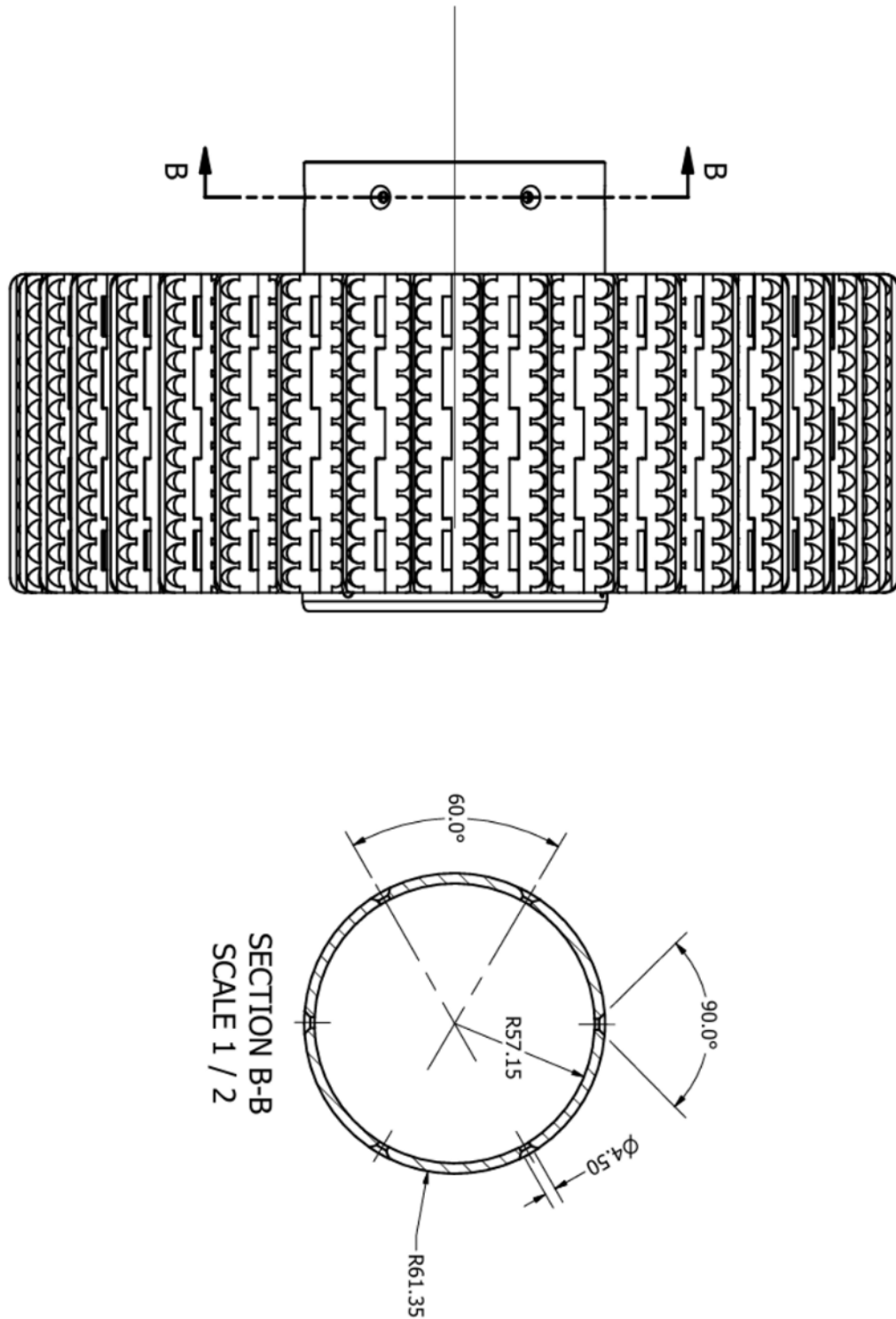


Figura 2-8: Vía de ruedas sin buje y sección B-B a escala 1/2.

3 RESISTENCIA Y DESGASTE

Hemos realizado pruebas de 1.000 km en un tambor lleno de arena de regolito, con un tamaño de hasta unas pocas micras. Después desmontamos todos los elementos críticos y verificamos el desgaste. La rueda aguanta varios miles de km antes de que se produzca un desgaste significativo.

How about wear?

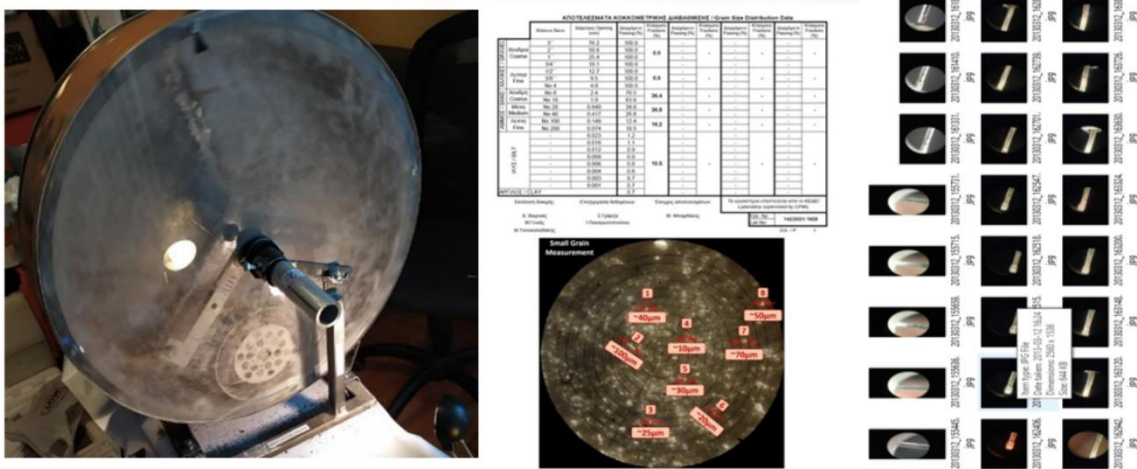


Figura 3-1: Montaje de las ruedas y resultados de las pruebas.

La rueda lunar HTR se ha probado durante una distancia de 1000 km (varias semanas de funcionamiento continuo a velocidades de 3-7 km/h), cargada con la carga nominal y funcionando en un entorno de arena regolítica totalmente contaminada. Contrariamente a las consideraciones de "instinto de ingeniería", aunque la arena regolítica penetra profundamente en todas las bisagras de la llanta y los muelles, la flexibilidad de la llanta se conserva y no se produce ningún aumento de la rigidez de la rueda debido a la contaminación. Después de 1000 km, la elasticidad de la rueda sigue conservándose. El desgaste sólo aparece en las garras, pero la tasa de desgaste es tal que se necesitan varios miles de km antes de alterar significativamente la función de la garra.

4 MANTENIMIENTO Y SEGURIDAD

4.1 Mantenimiento ordinario

- **Comprobar que la rueda no se deforme:**

Se debe comprobar que las ruedas no se deformen, para detectar elementos que puedan obstaculizar esta funcionalidad. Es extremadamente raro que queden pequeñas piedras atrapadas entre los muelles y las baldosas. Cuando esto ocurre, las piedras suelen desprenderse de forma natural de la rotación de la rueda.

- **Limpiar las piezas móviles:**

Si el barro, las ramas u otros elementos vegetales han obstruido el espacio entre las baldosas y los muelles, notará que la rueda se vuelve más rígida, ya que no hay espacio para la deformación. Dado que las ruedas están diseñadas para funcionar en una superficie sin barro ni vegetación, es necesario eliminar esta contaminación.



5 SCENARIOS TÍPICOS DE APLICACIÓN: INTERCONEXIÓN DE LA RUEDA CON EL ROVER

Puedes conectar fácilmente la rueda HTR con una brida móvil procedente de tu rover. Los siguientes planos muestran los detalles de interconexión:

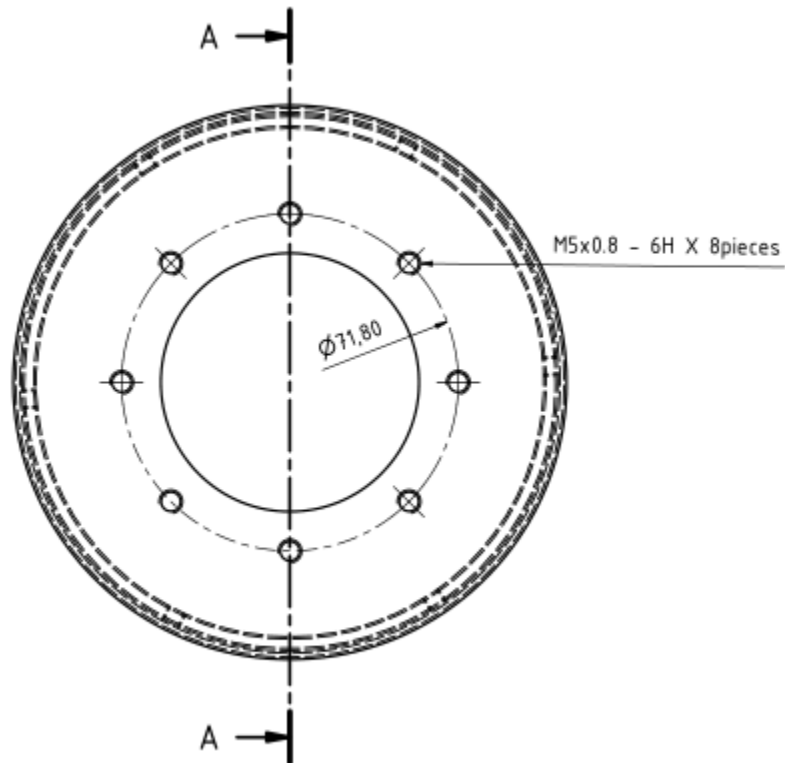


Figura 5-1: Vista frontal de la brida de montaje de la rueda.

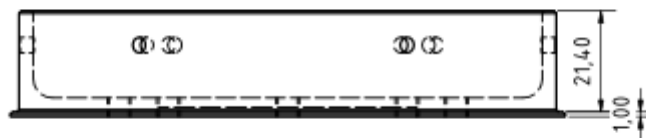


Figura 5-2: Vista lateral de la brida de montaje de la rueda.

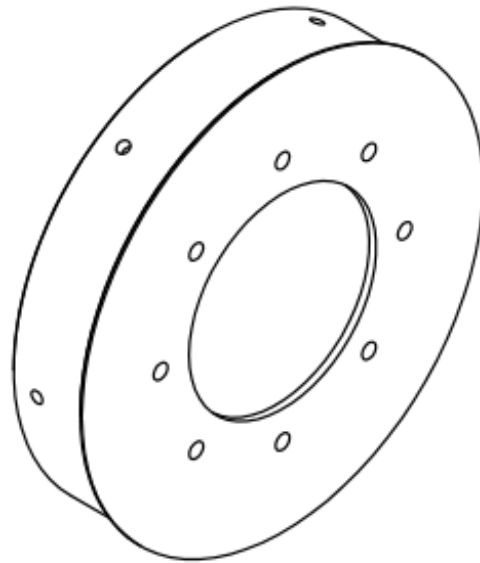


Figura 5-3: Vista lateral de la interfaz de montaje de la rueda.

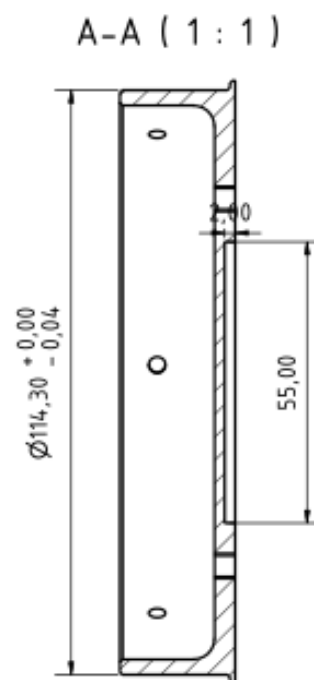


Figura 5-4: Vista en corte de la interfaz de montaje de la rueda.

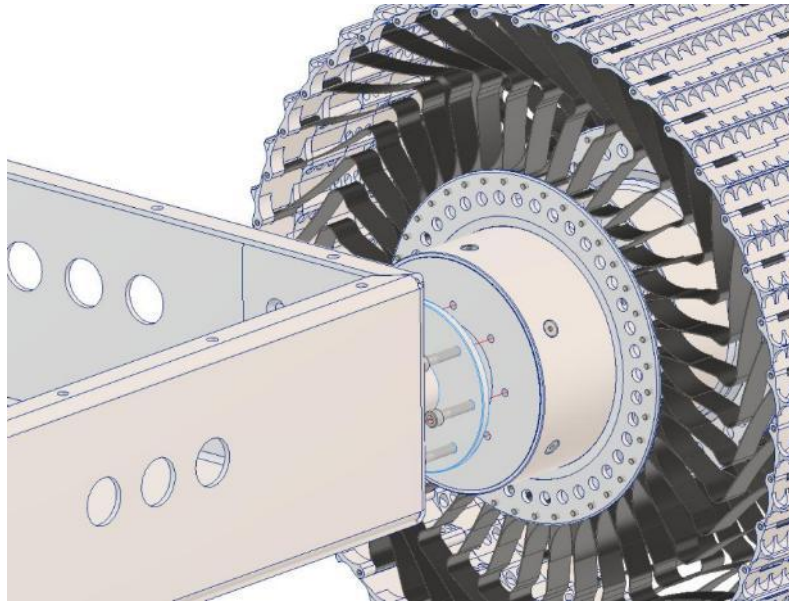


Figura 5-5: Ejemplo de alimentación de la rueda a través de un eje que sale del chasis de un rover.

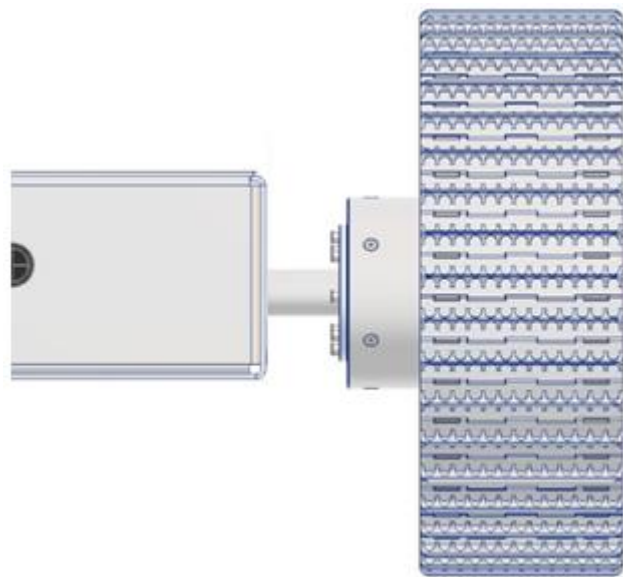


Figura 5-6: Ejemplo de accionamiento de la rueda a través de un eje, con el motor situado en el interior del chasis del vehículo.

De forma similar, la rueda puede accionarse a través de un eje con el motor situado en un brazo de suspensión, un bogie, etc.

6 PREGUNTAS FRECUENTES

1. P: ¿Tiene la rueda un sentido de giro preferente?

R: Sí. El mecanismo de rigidez varía de comportamiento en función de la orientación de los muelles y de la rotación de la rueda. A continuación puede ver imágenes de la orientación de los muelles y la correlación de rotación:

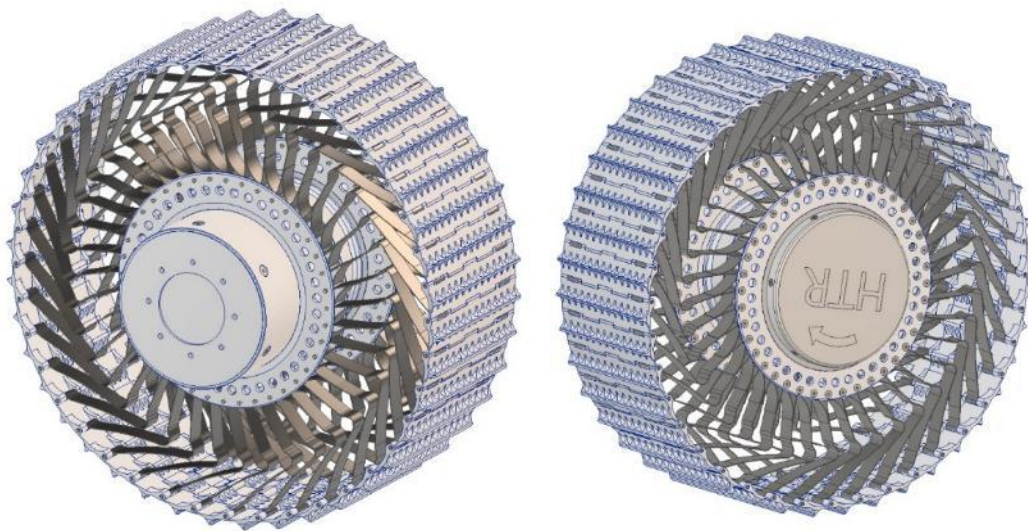


Figura 6-1: Rueda: Rotación CW.

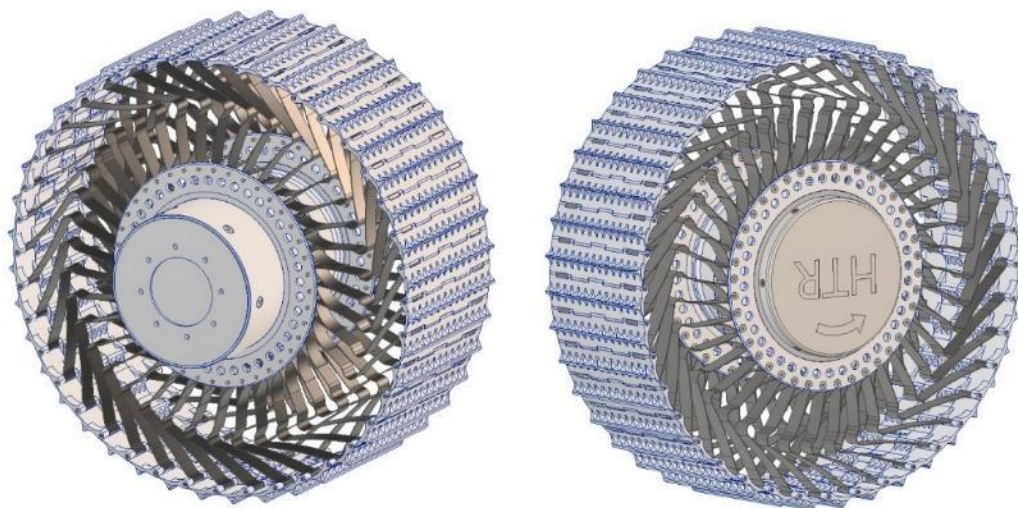


Figura 6-2: Rueda: Rotación CCW.

2. P: ¿La rueda HTR sin buje es apta para el vuelo?

R: No. Las ruedas HTR sin buje no se han sometido a pruebas de cualificación espacial, ya que esto aumentaría sustancialmente su coste. Sin embargo, las ruedas que vendemos tienen un diseño muy similar al de las ruedas homologadas para el vuelo.

3. P: ¿Cómo afecta la variación de rigidez al rendimiento de la rueda?

R: La variación de la rigidez altera la cantidad de presión superficial de la llanta de la rueda sobre el suelo. Esto afecta a muchos aspectos del rendimiento, a saber:

- Aumenta la eficacia, ya que la energía no se desperdicia en las deformaciones locales de histéresis, sino que se aprovecha al máximo.
- Evita el deslizamiento, lo que facilita la conservación de la energía.
- Con un mayor contacto superficial, aumenta la fuerza máxima de tracción de la rueda.

4. P: ¿Qué ocurre en caso de colisión?

R: Las colisiones son inevitables. La rueda funciona como una suspensión del sistema en general. Si la colisión es más violenta de lo esperado, algunos muelles pueden dañarse alrededor de la zona de colisión.

5. P: ¿Puedo reparar un muelle roto sin enviar la rueda a HTR?

R: Sí, es posible sustituir un muelle sin tener que devolver la rueda, pero hay que prestar atención al intentar retirar los tornillos, ya que utilizamos adhesivo para evitar que se aflojen.

- Retire los tornillos sin cabeza de fijación superior a ambos lados de la llanta.

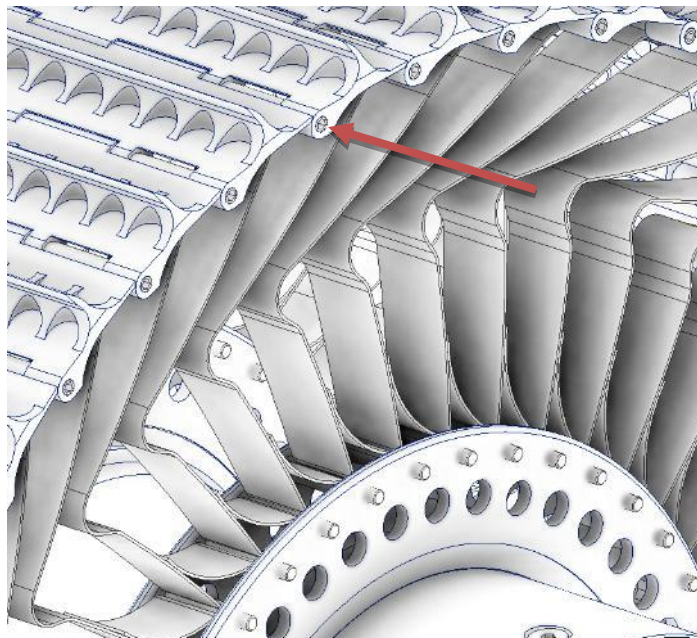


Figura 6-3: Desmontaje del segmento de la llanta/tornillo del eje del muelle.

- Utilizando un eje de 3 mm de diámetro, empuje el eje de la llanta hacia fuera, retirándolo del muelle que se ha dañado. Tenga cuidado de no extraer completamente el eje de la llanta, sólo empujelo hacia fuera del muelle a extraer.
- Afloje el tornillo que sujeta el muelle dañado en el aro interior.

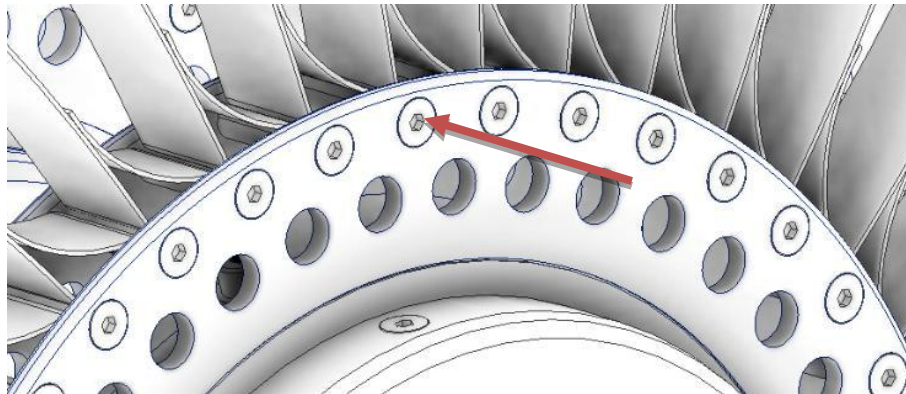


Figura 6-4: Desmontaje del tornillo del cubo del muelle.

- Retire el muelle dañado ahora liberado y sustitúyalo por el nuevo.
- Apriete el tornillo interior y pase el eje exterior de la llanta a través del muelle.
- Vuelva a colocar los tornillos sin cabeza superiores.

Nota: Todos los tornillos deben retirar el adhesivo seco y volver a aplicarlo al fijarlos.

6. P: ¿Vende HTR muelles individuales por separado como piezas de recambio?

R: Sí. Un muelle puede venderse por separado con un coste de unos 20 euros, más gastos de envío e impuestos.

7. P: ¿Puedo reparar un segmento de llanta (baldosa) dañado sin enviar la rueda a HTR?

R: Sí, puede reparar un segmento de llanta dañado siguiendo las siguientes instrucciones.

- Retire los tornillos sin cabeza de fijación del eje situados a ambos lados de ambos ejes que sujetan el segmento de la llanta.

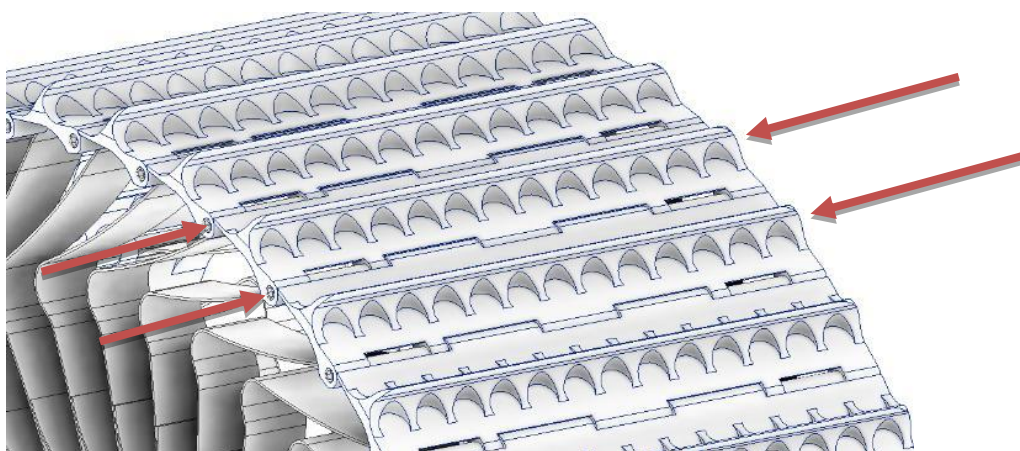


Figura 6-5: Retirada del segmento de la llanta.

Una vez retirados los tornillos, empuje con cuidado los dos ejes con una varilla de 3 mm para sacarlos completamente.

- Retire el segmento de llanta dañado, ahora libre, y coloque el nuevo segmento en su posición.
- Empuje con cuidado los dos ejes, asegurándose de pasarlos por los cuatro muelles liberados y los segmentos de llanta adyacentes.
- Apriete los cuatro tornillos de fijación sin cabeza.

Nota: Todos los tornillos deben retirar el adhesivo seco y volver a aplicarlo al fijarlos.

8. P: ¿Puedo comprar piezas de repuesto?

R: Sí. Si la pieza de repuesto no aparece en el sitio web del revendedor, póngase en contacto directamente con HTR en sales@htr.gr.

9. P: ¿Para qué distancia y en qué condiciones se ha probado la rueda?

R: La rueda se ha probado durante una distancia de 1.000 km a una velocidad de 4-7 km/h en suelo regolítico con una fuerte contaminación de arena regolítica durante la operación.

10. P: ¿Cómo afecta el desgaste al rendimiento de las ruedas?

R: El desgaste del material en los segmentos de la llanta no afecta significativamente al rendimiento de la rueda. Los muelles rotos en números bajos (<15 muelles rotos, no consecutivos) tampoco alteran significativamente el rendimiento.

11. P: ¿Qué garantía ofrece HTR?

R: Garantizamos que, en condiciones nominales, la rueda es capaz de recorrer 250 km sin necesidad de cambiar los herrajes.

12. P: ¿Son compatibles las ruedas HTR Lunar sin buje con las ruedas HTR con motor integrado en el buje?

R: Sí, los diseños son los mismos. Si ha comprado la versión sin buje de la rueda HTR, ofrecemos paquetes de actualización para instalar el buje motorizado HTR.

13. P: ¿Puedo convertir una rueda HTR sin buje en una rueda con motor HTR en el buje?

R: Sí, puede integrar un buje motorizado HTR dentro de la rueda sin buje, a continuación encontrará un diagrama del principio de montaje.



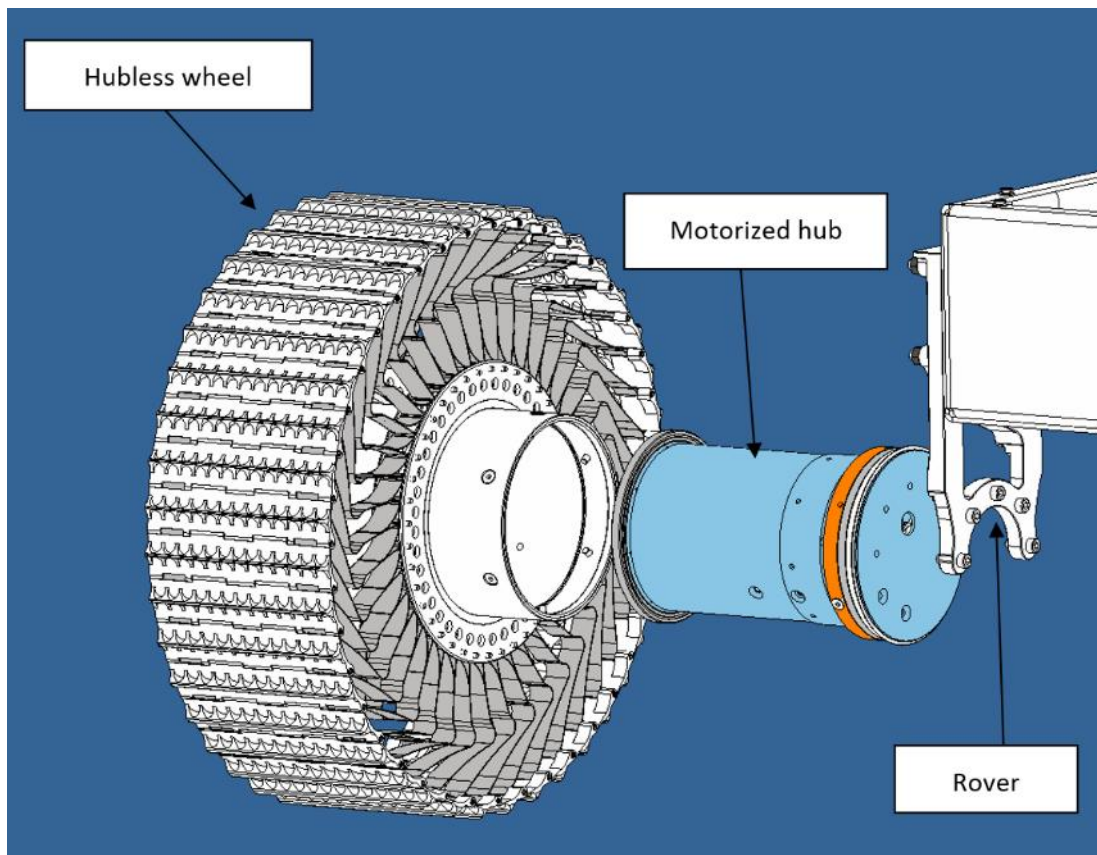


Figura 6-6: Vista general del montaje de la rueda sin buje, el buje motorizado HTR y el rover HTR.

- El montaje es sencillo, por lo que se puede adquirir posteriormente un buje motorizado e integrarlo en la rueda sin buje, en caso de que decida utilizar la motorización en buje HTR.

La motorización en el cubo de HTR es una caja de engranajes con motor fabricada a medida y extremadamente robusta, que garantiza el funcionamiento en las condiciones más duras. El rover de HTR y la electrónica de tracción asociada a las ruedas, garantizan un funcionamiento suave y una tracción óptima en las condiciones más exigentes.

14. P: ¿Cuáles son las especificaciones de las soluciones de motor en cubo de HTR?

R: La motorización en buje es compatible con todos los modelos de ruedas sin buje. Para conocer las especificaciones del motor en buje, consulte el manual de la rueda con motor en buje o escríbanos a sales@htr.gr.

15. P: ¿Cuánto costaría una solución de motor en el cubo para una rueda HTR?

R: Para más detalles, consulte el producto Rueda de motor de cubo o escríbanos a sales@htr.gr

16. P: ¿Ofrece HTR controladores de motor para las ruedas con motor en el cubo?

R: HTR no ofrece controladores individuales para la rueda de motor independiente en el cubo, pero sí ofrecemos un controlador de 4 ruedas con un chasis rover diseñado para llevar 4 ruedas. Consulte el manual del chasis rover de HTR o escribanos a sales@htr.gr.

17. P: ¿Cuánto costaría un chasis rover con 4 controladores de motor y un master?

R: Consulte los detalles en el producto chasis para vehículos HTR o escribanos a sales@htr.gr.



Figura 6-7: El chasis rover HTR con 4 ruedas montadas.

6.1 Vídeos relacionados

Rueda lunar HTR simple sobre regolito.

Rueda lunar HTR simple bajo compresión.

Rueda lunar HTR simple sobre piedras

Rueda lunar HTR montada sobre rover pesado sobre piedras

Chasis de rover lunar HTR con 4 ruedas escalando rocas

HTR Chasis de rover lunar con 4 ruedas sobre GRC-1 arena similar

Para ver estos vídeos, visite:

In <https://www.linkedin.com/company/hellenic-technology-of-robotics/posts/?feedView=all>

Referencias:

1. <https://www.semanticscholar.org/paper/Energetics-impact-from-the-use-of-flexible-and-on-Papantoniou-Skevakis/bb9cffd549bf2d733db60c9dbfb33ce842ac39e1>
2. <https://www.hou.usra.edu/meetings/isairas2020fullpapers/pdf/5079.pdf>
3. <https://patents.google.com/patent/EP3808573B1/en?q=EP3808573B1>

4. <https://patents.google.com/patent/US11623472B2/en?q=US11623472B2>

FIN DEL DOCUMENTO

