

# Requerimientos Funcionales de Software del Microcontrolador del Robot Desmalezador

Versión 1.2.1

Laura Pomponio

03 de febrero de 2022



## 1. Acerca de este documento

El presente documento establece los requerimientos de software del microcontrolador utilizado en un robot desmalezador.

Los requerimientos fueron obtenidos a partir de los informes [GFSG19, ETCE18] y de reuniones con el Ing. Román Comelli y el Dr. Ernesto Kofman. El primero ha sido quien ha validado cada uno de los requerimientos.

Los requerimientos que constan de dos fechas de validación indican que no han sufrido ningún tipo de modificación entre las validaciones.

## 2. Descripción general

Se deberá implementar un sistema de software que se ejecutará en el microcontrolador (MCU) del robot desmalezador, permitiendo así controlar su desplazamiento.

El robot cuenta con cuatro **ruedas** (**DD**, **DI**, **TD**, **TI**), un **dispositivo de control de dirección**, un **control remoto** (**CR**), una **computadora** (**PC**) y el **MCU** donde se instalará el sistema.

### 2.1. Ruedas

El hardware que permite el **control de cada rueda** está constituido por tres elementos fundamentales: **un controlador** a través del cual el sistema establecerá el sentido (adelante/atrás) de desplazamiento y la velocidad de cada rueda, **un sensor hall** que enviará interrupciones al sistema y por medio de las cuales podrá calcularse la posición y la velocidad en cada momento de las ruedas, y **un sistema de medición de corriente** que le permitirá al sistema determinar cuál es la corriente en cada caso. El MCU accederá a los valores del sistema de medición de corriente de una rueda, mediante un registro de 16 bits, el cual será leído oportunamente para obtener el valor registrado.

### 2.2. Dirección

El **dispositivo de control de dirección** del robot permitirá que el sistema determine cuál es el ángulo de dirección en un momento particular y permitirá que el sistema establezca un ángulo de giro determinado para el desplazamiento del robot. El MCU contará con ocho pines conectados al dispositivo de dirección por medio de los cuales el sistema llevará a cabo la lectura de la posición del mencionado dispositivo.

### 2.3. CR y PC

Para determinar el desplazamiento del robot, el sistema deberá procesar órdenes provenientes del CR y de la PC. Por otro lado, el sistema deberá enviar a esta última, información respecto a la velocidad, sentido, posición y corriente de las ruedas, como así también, información respecto a la dirección del robot.

El MCU contará con un **pin de velocidad** y un **pin de dirección**, que estarán conectados al **receptor del CR**. Cuando el gatillo del CR sea presionado, cierta señal será percibida a través del **pin de velocidad**. De un modo análogo, cuando la perilla de giro sea girada, cierta señal será percibida por medio del **pin de dirección**. El cambio de nivel de tensión en alguno de los dos pines, ocasionará una interrupción en el sistema. Las órdenes provenientes del CR serán obtenidas entonces, a partir de las interrupciones asociadas a los pines de velocidad y dirección. En particular, su interpretación estará dada por los períodos de tiempo entre interrupciones.

La comunicación entre el MCU y la PC será una comunicación serie. El sistema enviará y recibirá mensajes hacia y desde la PC mediante un módulo de comunicación UART.

Un mensaje proveniente de la PC establecerá una orden que determinará el modo de funcionamiento, los valores de referencia de dirección y, por cada rueda, los valores de referencia de velocidad, tensión o corriente. De este modo el sistema leerá el correspondiente puerto serie para obtener la orden.

Figura 1 ilustra las distintas unidades funcionales de hardware mencionadas y cómo la información fluye entre éstas.

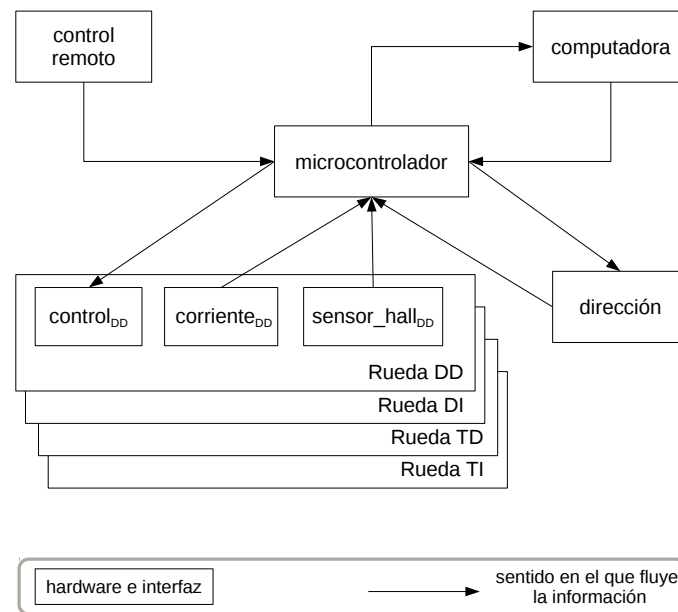


Figura 1: Estructura general de cómo la información fluye entre las distintas unidades funcionales de hardware.

### 2.4. Control

El sistema llevará a cabo **ciclos de ejecución** que se repetirán cada un tiempo  $\Delta T$  determinado. En cada ciclo de ejecución, el sistema deberá realizar mediciones sobre la velocidad, posición y corriente de las ruedas; y sobre la posición del dispositivo de dirección. Deberá además leer las órdenes provenientes del CR y de la PC. A partir de estas mediciones y de las órdenes obtenidas, deberá realizar el cálculo de nuevas señales que serán enviadas a las ruedas y al dispositivo de dirección para que el robot se desplace. A su vez, las mediciones y los cálculos mencionados deberán ser enviados a la computadora.

## 3. Lista detallada de requerimientos funcionales

RF-1. Las órdenes de control que el sistema podrá enviar a las ruedas serán: sentido, tensión y señal de parada.

Estado: **Validado** - 25/02/2021

RF-1.1. Para establecer el sentido de movimiento de las ruedas, el sistema deberá escribir el valor adecuado en el correspondiente pin.

Estado: **Validado** - 25/02/2021

RF-1.2. Para establecer la tensión de una rueda, el sistema deberá escribir en el registro correspondiente a esta, un valor  $valReg \in [0, 65535] \subset \mathbb{Z}$ , proporcional a la tensión que se quiera aplicar.

Requerimientos relacionados: **RF-65**.

Estado: **Validado** - 25/02/2021

- RF-1.3. Para detener la rueda, el sistema deberá escribir el valor adecuado en el correspondiente pin de parada.
- RF-2. Las órdenes de control que el sistema podrá enviar al dispositivo de dirección serán: dirección de giro, señal de pulso y señal para habilitar, o deshabilitar, el dispositivo.  
Estado: [Validado - 25/02/2021](#)
- RF-2.1. Para establecer el sentido del giro hacia la izquierda, el sistema enviará una señal de tensión alta en el **pin de dirección**.  
Estado: [Validado - 25/02/2021](#)
- RF-2.2. Para establecer el sentido del giro hacia la derecha, el sistema enviará una señal de tensión baja en el **pin de dirección**.  
Estado: [Validado - 25/02/2021](#)
- RF-2.3. Para llevar a cabo un paso en el sentido del rotación establecido, el sistema enviará una señal de tensión alta en el pin de pulsos.  
Estado: [Validado - 25/02/2021](#)
- RF-2.4. Para habilitar el dispositivo de dirección el sistema enviará una señal de tensión alta en el pin correspondiente.  
Estado: [Validado - 25/02/2021](#)
- RF-2.5. Para deshabilitar el dispositivo de dirección, el sistema enviará una señal de tensión baja en el pin correspondiente.  
Estado: [Validado - 25/02/2021](#)
- RF-3. Para detener el robot, el sistema deberá detener las cuatro ruedas del mismo.  
Requerimientos relacionados: [RF-1.3](#).  
Estado: [Validado - 25/02/2021](#)
- RF-4. El sistema funcionará en modo CR o en modo PC.  
Requerimientos relacionados: [RF-30](#). [RF-31](#).  
Estado: [Validado - 27/07/18](#)  
Estado: [Validado - 25/02/2021](#)
- RF-5. Inicialmente el sistema estará en modo CR.  
Estado: [Validado - 27/07/18](#)  
Estado: [Validado - 25/02/2021](#)
- RF-6. La unidad de medida de la velocidad será [RPM](#).  
Estado: [Validado - 25/02/2021](#)
- RF-7. El valor máximo  $MAXRPM$  de RPM que el sistema procesará será 130.  
Estado: [Validado - 25/02/2021](#)
- RF-8. Los valores RPM serán valores reales en el intervalo  $[0, MAXRPM]$ .  
Requerimientos relacionados: [RF-7](#).  
Estado: [Validado - 25/02/2021](#)
- RF-9. La unidad de medida de la posición del dispositivo de dirección, será [porcentaje signado](#).  
Estado: [Validado - 25/02/2021](#)
- RF-10. El valor de referencia del ángulo de giro, para el dispositivo de dirección, será un porcentaje signado.  
Estado: [Validado - 25/02/2021](#)
- RF-11. La unidad de medida de la tensión será [porcentaje](#).  
Estado: [Validado - 25/02/2021](#)
- RF-12. La unidad de medida de la corriente será porcentaje signado<sup>1</sup>.  
Estado: [Validado - 25/02/2021](#)
- RF-13. El sistema deberá implementar una función *map* que permitirá la transformación requerida por el sistema de ciertos valores. La definición de la función será la siguiente.

$$map : \mathbb{R} \times \mathbb{R} \times \mathbb{R} \times \mathbb{R} \times \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$$

$$map(x, in_{min}, in_{max}, out_{min}, out_{max}) = (x - in_{min}) * (out_{max} - out_{min}) / (in_{max} - in_{min}) + out_{min}$$

---

<sup>1</sup>Cuando el robot es detenido mediante el pin de frenado, la corriente medida asumirá un valor negativo para luego tender al valor 0.

- RF-14. El sistema deberá procesar órdenes provenientes del CR. Las órdenes provenientes del CR serán: orden de frenado, valor de referencia de velocidad ( $vel_{ref}$ ), sentido, dirección de giro y valor de referencia del ángulo de giro ( $ang_{ref}$ ).  
Requerimientos relacionados: RF-22. RF-27. RF-73.  
Estado: [Validado - 25/02/2021](#)
- RF-15. El sistema contará con un valor constante  $ANCHOPULSO\_CR$ , asociado a las órdenes del CR.  
Estado: [Validado - 25/02/2021](#)
- RF-16. El valor  $ANCHOPULSO\_CR$  será 50.  
Estado: [Validado - 25/02/2021](#)
- RF-17. El sistema contará con un valor constante  $MAXRPM\_CR$ , asociado a la velocidad máxima, que puede ser requerida por una orden del CR.  
Estado: [Validado - 25/02/2021](#)
- RF-18. El valor  $MAXRPM\_CR$  será 50.  
Estado: [Validado - 25/02/2021](#)
- RF-19. El sistema contará con un valor constante  $VCALIBRACION$ , asociado a la orden de velocidad del CR.  
Estado: [Validado - 25/02/2021](#)
- RF-20. El valor  $VCALIBRACION$  será 49.  
Estado: [Validado - 25/02/2021](#)
- RF-21. Las señales del CR serán percibidas por el MCU a través de los cambios de tensión en el **pin de velocidad** y en el **pin de dirección**. El cambio de tensión en un pin ocasionará una interrupción en el sistema. El sistema deberá guardar, por cada pin, los instantes de tiempo en los que tuvieron lugar las dos últimas interrupciones ocasionadas por estos.  
Requerimientos relacionados: RF-27. RF-22.  
Estado: [Validado - 25/02/2021](#)
- RF-21.1. Para establecer el instante de tiempo en el que ocurre una interrupción ocasionada por un cambio de tensión en un pin, el sistema deberá leer el valor  $t_i$  del registro asociado al reloj del MCU.  
Estado: [Validado - 25/02/2021](#)
- RF-22. Para interpretar una orden de velocidad proveniente del CR, el sistema utilizará los dos últimos instantes de tiempo  $t_{v0}$  y  $t_{v1}$ , registrados a partir de los cambios de tensión en el **pin de velocidad**, y obtendrá un valor  $vel_{ref} \in [0, MAXRPM]$ .  
Requerimientos relacionados: RF-21.  
Estado: [Validado - 25/02/2021](#)
- RF-22.1. El sistema llevará a cabo el siguiente cálculo relativo a la velocidad  
 $calculo_v = (t_{v1} - t_{v0}) - VCALIBRACION$   
Requerimientos relacionados: RF-20.  
Estado: [Validado - 25/02/2021](#)
- RF-22.2. Si  $calculo_v \geq 0$ , el sentido del movimiento de las ruedas será hacia [ADELANTE](#).  
Estado: [Validado - 25/02/2021](#)
- RF-22.3. Si  $calculo_v < 0$ , el sentido del movimiento de las ruedas será hacia [ATRAS](#).  
Estado: [Validado - 25/02/2021](#)
- RF-22.4. El sistema calculará la velocidad de referencia  $vel_{ref}$ , mediante el siguiente cómputo:  
 $vel_{ref} = map(|calculo_v|, in_{min}, in_{max}, out_{min}, out_{max})$   
siendo  
 $in_{min} = 0$   
 $in_{max} = ANCHOPULSO\_CR$   
 $out_{min} = 0$   
 $out_{max} = MAXRPM\_CR$ .  
Requerimientos relacionados: RF-22.1. RF-13. RF-16. RF-18.  
Estado: [Validado - 25/02/2021](#)
- RF-23. El sistema registrará el sentido del movimiento en el que se desplazan las ruedas en cada momento.  
Requerimientos relacionados: RF-22.2. RF-22.3. RF-28.  
Estado: [Validado - 25/02/2021](#)
- RF-24. Si ante una orden de velocidad del CR, el sistema determina que se requiere un cambio de sentido, y además,  $vel_{ref} \geq \frac{MAXRPM\_CR}{2}$ ; el sistema interpretará que debe detener el robot y por tanto llevará a cabo dicha acción.  
Requerimientos relacionados: RF-23. RF-22.2. RF-22.3. RF-18. RF-3.  
Estado: [Validado - 25/02/2021](#)

- RF-25. El sistema contará con un valor constante *DCALIBRACION*, asociado a la orden de dirección de giro del CR.  
Estado: [Validado - 25/02/2021](#)
- RF-26. El valor *DCALIBRACION* será 49.  
Estado: [Validado - 25/02/2021](#)
- RF-27. Para interpretar una orden de dirección proveniente del CR, el sistema utilizará los dos últimos instantes de tiempo  $t_{d0}$  y  $t_{d1}$ , registrados a partir de los cambios de tensión en el **pin de dirección**, y obtendrá un valor  $ang_{ref} \in [-100, 100]$ .  
Requerimientos relacionados: [RF-21](#).  
Estado: [Validado - 25/02/2021](#)
- RF-27.1. El valor calculado relativo a la orden de dirección será  
 $calculo_d = (t_{d1} - t_{d0}) - DCALIBRACION$   
Estado: [Validado - 25/02/2021](#)
- RF-27.2. El sistema calculará el ángulo de referencia  $ang_{ref}$ , mediante el siguiente cómputo:  
 $ang_{ref} = map(calculo_d, in_{min}, in_{max}, out_{min}, out_{max})$   
siendo  
 $in_{min} = -ANCHOPULSO\_CR$   
 $in_{max} = ANCHOPULSO\_CR$   
 $out_{min} = -100$   
 $out_{max} = 100$ .  
Requerimientos relacionados: [RF-27.1](#). [RF-13](#).  
Estado: [Validado - 25/02/2021](#)
- RF-28. El sistema deberá procesar órdenes provenientes de la PC. Las órdenes provenientes de la PC serán: el modo de funcionamiento, orden de frenado, valor de referencia del ángulo de dirección ( $ang_{ref}$ ), sentido y, por cada rueda, valores de referencia de velocidad ( $vel_{ref}$ ), de corriente ( $cte_{ref}$ ) o de tensión ( $tens_{ref}$ ).  
Requerimientos relacionados: [RF-4](#).  
Estado: [Validado - 25/02/2021](#)
- RF-29. Una orden proveniente de la PC será una secuencia de caracteres cuyo formato será el siguiente.<sup>2</sup>
- (<modo>, <tipoDD>, <valorDD>, <tipoDI>, <valorDI>,  
                  <tipoTD>, <valorTD>, <tipoTI>, <valorTI>,  
                  <freno>, <dirección>, <sentido>, \r\n)
- Estado: [Validado - 19/03/2021](#)
- RF-29.1. <modo> asumirá los caracteres 0 o 1.
- Si <modo> es 0 la orden indicará que el MCU debe funcionar en modo CR.
  - Si <modo> es 1 la orden indicará que el MCU debe funcionar en modo PC.
- Estado: [Validado - 19/03/2021](#)
- RF-29.2. <tipoDD>, <tipoDI>, <tipoTD> y <tipoTI> son, cada uno, un carácter numérico representando el **tipo de señal** a aplicar, respectivamente, a la rueda delantera derecha, delantera izquierda, trasera derecha y trasera izquierda. En cada caso, dichos caracteres pueden ser 0, 1 o 2.
- Si el carácter es 0 la orden indicará que se debe enviar una señal de **tensión** a la correspondiente rueda.
  - Si el carácter es 1 la orden indicará que se debe enviar una señal de **velocidad** a la correspondiente rueda.
  - Si el carácter es 2 la orden indicará que se debe enviar una señal de **corriente** a la correspondiente rueda.
- Estado: [Validado - 19/03/2021](#)
- RF-29.3. <valorDD>, <valorDI>, <valorTD> y <valorTI> son, cada uno, una secuencia de caracteres numéricos representando el **valor** de la señal a aplicar, respectivamente, a la rueda delantera derecha, delantera

<sup>2</sup>Los caracteres que se escriben con letra **typewriter** son literales (en una gramática serían símbolos terminales). En este caso son: '(', ')', '<', '>', '\r', '\n' y '\t'. Las expresiones en letra *italica* entre '<' y '>' se utilizan para nombrar una secuencia de caracteres que luego será descripta.

izquierda, trasera derecha y trasera izquierda.

Estado: [Validado - 19/03/2021](#)

RF-29.4. En cada caso, el **intervalo del valor** de  $\langle valorDD \rangle$ ,  $\langle valorDI \rangle$ ,  $\langle valorTD \rangle$  y  $\langle valorTI \rangle$  dependerá del **tipo de señal** ordenada en  $\langle tipoDD \rangle$ ,  $\langle tipoDI \rangle$ ,  $\langle tipoTD \rangle$  y  $\langle tipoTI \rangle$ , respectivamente.

- Si el **tipo de señal** ordenada para una rueda es 0 (tensión), el **valor** será un [porcentaje](#).
- Si el **tipo de señal** ordenada para una rueda es 1 (velocidad), el **valor** pertenecerá al intervalo  $[0, MAXRPM]$ .
- Si el **tipo de señal** ordenada para una rueda es 2 (corriente), el **valor** será un [porcentaje](#).

Requerimientos relacionados: [RF-7](#). [RF-8](#). [RF-11](#).

Estado: [Validado - 19/03/2021](#)

RF-29.5.  $\langle freno \rangle$  asumirá los caracteres 0 o 1.

- Si  $\langle freno \rangle$  es 0 indicará que no hay una orden de frenado.
- Si  $\langle freno \rangle$  es 1 la orden indicará frenar.

Estado: [Validado - 19/03/2021](#)

RF-29.6.  $\langle dirección \rangle$  será una secuencia de caracteres representando un valor que determinará el ángulo de giro requerido. Dicho valor será un [porcentaje signado](#).

Requerimientos relacionados: [RF-9](#).

Estado: [Validado - 19/03/2021](#)

RF-29.7.  $\langle sentido \rangle$  asumirá los caracteres 0 o 1.

- Si  $\langle sentido \rangle$  es 0 la orden indicará que el sentido de movimiento de las ruedas debe ser hacia atrás.
- Si  $\langle sentido \rangle$  es 1 la orden indicará que el sentido de movimiento de las ruedas debe ser hacia adelante.

Estado: [Validado - 19/03/2021](#)

RF-30. Si el sistema está funcionando en modo PC, solo procesará las órdenes provenientes de la PC e ignorará aquellas provenientes del CR.

Estado: [Validado - 27/07/18](#)

Estado: [Validado - 25/02/2021](#)

RF-31. Si el sistema está funcionando en modo CR, procesará las órdenes provenientes de éste y sólo aquellas provenientes de la PC, que indiquen cambiar el modo de funcionamiento a PC.

Requerimientos relacionados: [RF-28](#).

Estado: [Validado - 25/02/2021](#)

RF-32. Si el sistema no recibe ninguna orden, el sistema deberá llevar a cabo el control del robot, con la última orden recibida.

Estado: [Validado - 25/02/2021](#)

RF-33. Si el sistema no recibe ninguna orden durante un período de tiempo  $\Delta\perp$ , el sistema interpretará que hay **pérdida de señal**.

Requerimientos relacionados: [RF-34](#). [RF-35](#).

Estado: [Validado - 25/02/2021](#)

RF-34. El período de tiempo  $\Delta\perp$ , asociado a la pérdida de señal, será de 5s (s segundos).

Requerimientos relacionados: [RF-33](#).

Estado: [Validado - 25/02/2021](#)

RF-35. Ante una pérdida de señal el sistema enviará un valor de tensión nula a las ruedas y luego pasará a un estado de reconexión.

Estado: [Validado - 25/02/2021](#)

RF-36. Si el sistema está en modo CR e ingresa al estado de reconexión, intentará leer alternadamente desde la PC y desde el CR una orden, hasta obtenerla, iniciando la lectura desde la PC.

Requerimientos relacionados: [RF-33](#). [RF-35](#).

Estado: [Validado - 25/02/2021](#)

- RF-37. Si el sistema está en modo PC e ingresa al estado de reconexión, intentará leer alternadamente desde la PC y desde el CR una orden, hasta obtenerla, iniciando la lectura desde el CR.  
Requerimientos relacionados: [RF-33.](#) [RF-35.](#)  
Estado: [Validado - 25/02/2021](#)
- RF-38. Si el sistema está en estado de reconexión y obtiene una orden, abandonará dicho estado cambiando el modo al correspondiente al origen de lectura de la orden y procesándola.  
Requerimientos relacionados: [RF-36.](#) [RF-37.](#)  
Estado: [Validado - 25/02/2021](#)
- RF-39. Ante una orden de frenado proveniente de la PC el sistema detendrá el robot.  
Requerimientos relacionados: [RF-3.](#)  
Estado: [Validado - 25/02/2021](#)
- RF-40. El valor de referencia del ángulo de dirección proveniente de la PC será un porcentaje signado.  
Requerimientos relacionados: [RF-9.](#)  
Estado: [Validado - 25/02/2021](#)
- RF-41. El valor de referencia de velocidad proveniente de la PC, será en RPM.  
Requerimientos relacionados: [RF-6.](#) [RF-8.](#)  
Estado: [Validado - 25/02/2021](#)
- RF-42. El valor de referencia de tensión proveniente de la PC, será en porcentaje.  
Requerimientos relacionados: [RF-11.](#)  
Estado: [Validado - 25/02/2021](#)
- RF-43. El valor de referencia de corriente proveniente de la PC, será en porcentaje.  
Requerimientos relacionados: [RF-12.](#)  
Estado: [Validado - 25/02/2021](#)
- RF-44. La comunicación entre el MCU y la PC será una comunicación serie. El sistema deberá leer el correspondiente puerto serie para poder procesar las órdenes provenientes de la PC.  
Requerimientos relacionados: [RF-28.](#)  
Estado: [Validado - 25/02/2021](#)
- RF-45. El sistema deberá poder procesar, para cada rueda, tres tipos diferentes de valores de referencia, provenientes de la PC: valor de referencia de velocidad ( $vel_{ref}$ ), valor de referencia de corriente ( $cte_{ref}$ ), valor de referencia de tensión ( $tens_{ref}$ ).  
Requerimientos relacionados: [RF-28.](#) [RF-41.](#) [RF-42.](#) [RF-43.](#)  
Estado: [Validado - 27/07/18](#)  
Estado: [Validado - 25/02/2021](#)
- RF-46. Los cuatro valores de referencia provenientes en cierto momento de la PC, para las cuatro ruedas, pueden ser de distinto tipo entre si.  
Requerimientos relacionados: [RF-45.](#)  
Estado: [Validado - 27/07/18](#)  
Estado: [Validado - 25/02/2021](#)
- RF-47. El sistema tendrá un temporizador que marcará períodos de tiempo consecutivos cuya duración será de  $\Delta T$  milisegundos (ms).  
Estado: [Validado - 27/07/18](#)  
Estado: [Validado - 25/02/2021](#)
- RF-48. El tiempo de duración  $\Delta T$  de cada período será de 100 ms.  
Requerimientos relacionados: [RF-47.](#)  
Estado: [Validado - 27/07/18](#)  
Estado: [Validado - 25/02/2021](#)
- RF-49. El sistema deberá contar las interrupciones provenientes de cada sensor asociado a cada rueda, durante cada período  $\Delta T$  de tiempo.  
Requerimientos relacionados: [RF-47.](#) [RF-48.](#)  
Estado: [Validado - 27/07/18](#)  
Estado: [Validado - 25/02/2021](#)
- RF-50. Por cada sensor asociado a cada rueda, el sistema calculará el período de tiempo  $\Delta t_s$  transcurrido entre la primera y la última interrupción proveniente del mencionado sensor, dentro de un período de tiempo  $\Delta T$ .  
Requerimientos relacionados: [RF-47.](#) [RF-48.](#) [RF-49.](#)  
Estado: [Validado - 27/07/18](#)  
Estado: [Validado - 25/02/2021](#)



RF-51. El sistema determinará la posición de cada rueda contando la cantidad de interrupciones recibidas, del sensor asociado, desde que se inició el sistema.

Estado: [Validado - 27/07/18](#)

Estado: [Validado - 25/02/2021](#)

RF-52. El sistema calculará en RPM la velocidad a la que se traslada cada rueda, según la siguiente ley. Siendo  $n\_interrup$  la cantidad de interrupciones del período anterior del sensor asociado a la rueda,  $\Delta t_s$  el período de tiempo transcurrido entre la primera y la última de las mencionadas interrupciones y  $\Delta T$  el período de tiempo de un ciclo de ejecución, la velocidad medida  $vel_{medida}$  de una rueda será

$$vel_{medida} = \begin{cases} \frac{n\_interrup}{\Delta t_s} - 1 & \text{si } n\_interrup > 1 \\ \frac{1}{\Delta T} & \text{si } n\_interrup = 1 \\ 0 & \text{si } n\_interrup = 0 \end{cases}$$

Requerimientos relacionados: [RF-47.](#) [RF-48.](#) [RF-49.](#) [RF-50.](#)

Estado: [Validado - 27/07/18](#)

Estado: [Validado - 25/02/2021](#)

RF-53. En cada período de tiempo  $\Delta T$ , el sistema deberá calcular el error de velocidad  $\epsilon_{vel}$ , para cada rueda que reciba una orden de velocidad.

Estado: [Validado - 05/10/2021](#)

RF-53.1. En cierto período  $k$  de tiempo, a partir de la velocidad de referencia  $vel_{ref(k)}$  recibida en ese período y la velocidad medida  $vel_{medida(k)}$  en durante el mismo, el error de velocidad será como sigue.

$$\epsilon_{vel(k)} = vel_{ref(k)} - vel_{medida(k)}$$

Estado: [Validado - 05/10/2021](#)

RF-54. En cada período  $k + 1$  de tiempo  $\Delta T$ , el sistema deberá calcular el error de velocidad acumulado  $\epsilon_{velAc(k+1)}$ , para cada rueda que reciba una orden de velocidad. Así, el error de velocidad acumulado será como sigue.

$$\epsilon_{velAc(k+1)} = \begin{cases} 0 & \text{si no hubo orden de velocidad} \\ \epsilon_{velAc(k)} + \epsilon_{vel(k+1)} & \text{si hubo orden de velocidad} \end{cases}$$

Requerimientos relacionados: [RF-53.](#)

Estado: [Validado - 05/10/2021](#)

RF-55. El sistema contará con dos valores constantes  $TENSION_{VEL1}$  Y  $TENSION_{VEL2}$ , asociados al cálculo de la tensión a aplicar a una rueda, a partir de una orden de velocidad proveniente del CR o de la PC.

Estado: [Validado - 25/02/2021](#)

RF-55.1. El valor constante  $TENSION_{VEL1}$  será 4.

Estado: [Validado - 25/02/2021](#)

RF-55.2. El valor constante  $TENSION_{VEL2}$  será 25.

Estado: [Validado - 25/02/2021](#)

RF-56. Si el tipo de referencia enviado desde el CR o la PC para una rueda es la velocidad, el sistema deberá calcular la tensión  $U_{rueda}$  a aplicar a la mencionada rueda de la siguiente forma.

Siendo,  $k_P$  y  $k_I$  valores reales,  $vel_{ref}$  la velocidad de referencia recibida,  $vel_{medida}$  la velocidad medida,  $\epsilon_{vel}$  el error de velocidad actual y  $\epsilon_{velAc}$  el error de velocidad acumulado del presente período (actual). Considerando además  $k_P = 15$  y  $k_I = 0,4$ , el cálculo correspondiente será:

$$computo = \begin{cases} TENSION_{VEL2} & \text{si } vel_{medida} \leq \frac{vel_{ref}}{TENSION_{VEL1}} \\ k_P \cdot (vel_{ref} - vel_{medida}) + k_I \cdot (\epsilon_{vel} - \epsilon_{velAc}) & \text{en otro caso} \end{cases}$$



$$U_{rueda} = \begin{cases} 0 & \text{si } computo < 0 \\ 100 & \text{si } computo > 100 \\ computo & \text{si } 0 \leq computo \leq 100 \end{cases}$$

**Nota:** Podría ser necesario multiplicar el valor  $k_I$  por  $-1$ , pero esto se definirá al momento de probar el software y ver cómo se comportan las ruedas.

Requerimientos relacionados: [RF-52](#). [RF-54](#). [RF-55](#). [RF-28](#). [RF-41](#). [RF-22.4](#).

Estado: [Validado - 05/10/2021](#)

RF-57. El sistema tendrá un temporizador que marcará períodos de tiempo consecutivos cuya duración será de  $\Delta t_q$  milisegundos (ms).

Estado: [Validado - 25/02/2021](#)

RF-58. El tiempo de duración  $\Delta t_q$  de cada período será de  $1,5ms$ .

Requerimientos relacionados: [RF-57](#).

Estado: [Validado - 25/02/2021](#)

RF-59. El sistema medirá la corriente de cada rueda, leyendo tal información, del buffer correspondiente al sistema de medición de corriente de cada una de éstas.

Estado: [Validado - 25/02/2021](#)

RF-59.1. El sistema leerá cada períodos de tiempo  $\Delta t_q$ , el valor del buffer asociado a la corriente de cada rueda.

Requerimientos relacionados: [RF-57](#).

Estado: [Validado - 25/02/2021](#)

RF-59.2. La valor leído, del correspondiente buffer, será un entero en el intervalo  $[0, 65535]$  (entero de 16 bits).

Estado: [Validado - 25/02/2021](#)

RF-59.3. La **corriente leída**, asociada a una rueda, será el resultado de transformar el valor entero leído del buffer, en un cierto valor.

Siendo  $m = 0,796$  y  $h = 0$ , el valor será transformado del siguiente modo:

$$f : [0, 65535] \rightarrow \mathbb{R}.$$

$$f(x) = m * (x - \frac{65535}{2}) + h$$

**En un futuro, el valor  $f(x)$  será transformado en un porcentaje signado ( $[-100, 100]$ ), pero al momento de escribir estos requerimientos, dicha transformación aún no está definida por los interesados.**

**De este modo, se presenta una inconsistencia entre requerimientos, dado que el valor  $f(x)$  no cumple con el requerimiento [RF-12](#). que establece que la unidad de medida de la corriente será un porcentaje signado. Cuando la transformación sea definida, se reparará la inconsistencia.**

Requerimientos relacionados: [RF-59.2](#).

Estado: [Validado - 25/02/2021](#)

RF-59.4. La corriente medida ( $cte_{medida}$ ) de una rueda, será el promedio de las **corrientes leídas** durante cada ciclo de ejecución determinado por un período  $\Delta T$ .

Requerimientos relacionados: [RF-59.3](#). [RF-47](#).

Estado: [Validado - 25/02/2021](#)

RF-60. En cada período de tiempo  $\Delta T$ , el sistema deberá calcular el error de corriente  $\epsilon_{cnt}$ , para cada rueda que reciba una orden de corriente.

Estado: [Validado - 05/10/2021](#)

RF-60.1. En cierto período  $k$  de tiempo, a partir de la corriente de referencia  $cnt_{ref(k)}$  recibida en ese período y la corriente medida  $cnt_{medida(k)}$  en durante el mismo, el error de corriente será como sigue.

$$\epsilon_{cnt(k)} = cnt_{ref(k)} - |cnt_{medida(k)}|$$

Estado: [Validado - 05/10/2021](#)

RF-61. En cada período de tiempo  $\Delta T$ , el sistema deberá calcular el error de corriente acumulado  $\epsilon_{cntAc}$ , para cada rueda que reciba una orden de corriente. En un período  $k + 1$ , el error de corriente acumulada será como sigue.

$$\epsilon_{cntAc_{(k+1)}} = \begin{cases} 0 & \text{si no hubo orden de corriente} \\ \epsilon_{cntAc_{(k)}} + \epsilon_{cnt_{(k+1)}} & \text{si hubo orden de corriente} \end{cases}$$

Requerimientos relacionados: RF-60.

Estado: Validado - 05/10/2021

RF-62. El sistema contará con dos valores constantes  $TENSION_{CTE1}$  Y  $TENSION_{CTE2}$ , asociados al cálculo de la **tensión** a aplicar a una rueda, a partir de una orden proveniente de la PC de aplicar cierta **corriente**.

Estado: Validado - 25/02/2021

RF-62.1. El valor constante  $TENSION_{CTE1}$  será 4.

Estado: Validado - 25/02/2021

RF-62.2. El valor constante  $TENSION_{CTE2}$  será 25.

Estado: Validado - 25/02/2021

RF-63. Si el tipo de referencia enviado desde la PC para una rueda es la corriente, el sistema deberá calcular la tensión a aplicar a dicha rueda de la siguiente forma.

Siendo,  $k_P$  y  $k_I$  valores reales,  $cte_{ref}$  la corriente de referencia recibida,  $cte_{medida}$  la corriente medida,  $\epsilon_{cnt}$  el error de corriente actual y  $\epsilon_{cntAc}$  el error de corriente acumulado del presente período (actual); el cálculo correspondiente será:

$$computo = \begin{cases} TENSION_{CTE2} & \text{si } |cte_{medida}| \leq \frac{cte_{ref}}{TENSION_{CTE1}} \\ k_P \cdot (cte_{ref} - |cte_{medida}|) + k_I \cdot (\epsilon_{cte} - \epsilon_{cteAc}) & \text{en otro caso} \end{cases}$$

$$U_{rueda} = \begin{cases} 0 & \text{si } computo < 0 \\ 100 & \text{si } computo > 100 \\ computo & \text{si } 0 \leq computo \leq 100 \end{cases}$$

Los valores de  $k_P$  y  $k_I$ , al momento de escribir estos requerimientos, aún no han sido determinados por los interesados.

Los cálculos realizados en este requerimiento sobre la corriente medida ( $cte_{medida}$ ), son asumiendo que esta es no negativa. Dado el caso particular descrito en *el pie de página* del requerimiento RF-12., aquí se aplica el valor absoluto a la mencionada corriente.

Se debe tener en cuenta, que la corriente medida que se envíe a la PC podrá ser, por tanto, negativa. Si se quisiera que dicho valor fuera no negativo, se debe modificar el requerimiento RF-59.3. aplicando el valor absoluto en a la corriente leída, y en este requerimiento, se debe eliminar el valor absoluto presente en los cálculos.

Requerimientos relacionados: RF-59. RF-61. RF-62. RF-28. RF-43.

Estado: Validado - 19/03/2021

Estado: Validado - 05/10/2021

RF-64. Si el tipo de referencia enviado desde la PC para una rueda es la tensión  $tens_{ref}$ , el sistema deberá calcular la tensión a aplicar a dicha rueda de la siguiente manera.

$$U_{rueda} = tens_{ref}$$

Requerimientos relacionados: RF-28. RF-42.

Estado: Validado - 25/02/2021

RF-65. El sistema deberá traducir la tensión  $U_{rueda}$  a aplicar a una rueda, en un valor  $valRegistro_{rueda} \in [0, 65535]$ , a partir del siguiente cálculo.

$$valRegistro_{rueda} = map(U_{rueda}, in_{min}, in_{max}, out_{min}, out_{max})$$

siendo

$$\blacksquare in_{min} = 100$$

- $in_{max} = 0$
- $out_{min} = 42000$
- $out_{max} = 0$

Requerimientos relacionados: RF-56. RF-63. RF-64. RF-13.

Estado: Validado - 25/02/2021

RF-66. Si ante una orden de desplazamiento proveniente del CR o de la PC el robot debe seguir desplazándose en el mismo sentido, el sistema establecerá en cada rueda la tensión correspondiente.

Requerimientos relacionados: RF-65. RF-1.2.

Estado: Validado - 25/02/2021

RF-67. Si ante una orden proveniente del CR, o bien una orden proveniente de la PC en donde el valor de referencia para las cuatro ruedas sea en RPM, el sistema determina que se requiere un cambio de sentido en el desplazamiento; el sistema llevará a cabo la siguiente secuencia de acciones.

1. Detener el robot.

Requerimientos relacionados: RF-3.

2. Aplicar tensión 0 a cada rueda.

Requerimientos relacionados: RF-65.

3. Verificar que la velocidad medida sea 0.

Requerimientos relacionados: RF-52.

4. Una vez que el punto anterior sea verdadero, cambiar el sentido de cada rueda.

Requerimientos relacionados: RF-1.1.

5. Aplicar la tensión solicitada por la orden recibida.

Requerimientos relacionados: RF-65.

Requerimientos relacionados: RF-23.

Estado: Validado - 25/02/2021

RF-68. Si ante una orden proveniente de la PC en donde algunos de los valores de referencia de las cuatro ruedas es corriente o tensión, el sistema determina que se requiere un cambio de sentido en el desplazamiento; el sistema llevará a cabo la siguiente secuencia de acciones.

1. Aplicar tensión 0 a cada rueda.

Requerimientos relacionados: RF-65.

2. Verificar que la velocidad medida sea 0.

Requerimientos relacionados: RF-52.

3. Una vez que el punto anterior sea verdadero, cambiar el sentido de cada rueda.

Requerimientos relacionados: RF-1.1.

4. Aplicar la tensión solicitada por la orden recibida.

Requerimientos relacionados: RF-65.

Requerimientos relacionados: RF-23.

Estado: Validado - 25/02/2021

RF-69. El sistema medirá en qué posición ( $ang_{medido}$ ) está la dirección del robot leyendo los ocho pines correspondientes al dispositivo.

Estado: Validado - 25/02/2021

RF-69.1. Ya que el estado de cada pin determina un valor binario  $g_i$ , la secuencia de los ocho pines  $g_0g_1g_2g_3g_4g_5g_6g_7$  determinará un código Gray. El sistema deberá convertir dicho código en un número decimal para obtener el ángulo medido, mediante la siguiente ley.

- Siendo  $\oplus$  el operador de suma binaria sin acarreo.

$$h_1 \oplus h_2 = \begin{cases} 0 & \text{si } h_1 = h_2 \\ 1 & \text{si } h_1 \neq h_2 \end{cases}$$

Estado: Validado - 19/03/2021

- Siendo la conversión del código Gray  $g_0g_1g_2g_3g_4g_5g_6g_7$  al número binario  $b_0b_1b_2b_3b_4b_5b_6b_7$ , del siguiente modo

$$b_i = \begin{cases} g_0 & \text{si } i = 0 \\ g_{n+1} \oplus b_n & \text{si } i = n + 1 \wedge n \geq 0 \end{cases}$$

Estado: [Validado - 19/03/2021](#)

- Siendo la conversión de  $b_0b_1b_2b_3b_4b_5b_6b_7$  a decimal el valor

$$vdecimal = \sum_{i=0}^7 b_i * 2^{7-i}.$$

Estado: [Validado - 19/03/2021](#)

- Siendo  $m = 0,4$ ,  $h = 196$  y *computo* tal que  

$$computo = (vdecimal - h) / m$$

Estado: [Validado - 03/02/2022](#)

- El ángulo medido será el siguiente

$$ang_{medido} = \begin{cases} -100 & \text{si } computo < -100 \\ 100 & \text{si } computo > 100 \\ computo & \text{si } -100 \leq computo \leq 100 \end{cases}$$

Requerimientos relacionados: [RF-9.](#)

Estado: [Validado - 25/02/2021](#)

RF-70. Si el sistema de dirección está deshabilitado y la velocidad medida de alguna de las ruedas delanteras es distinta de 0, el sistema habilitará el sistema de dirección.

Requerimientos relacionados: [RF-2.4.](#)

Estado: [Validado - 25/02/2021](#)

RF-71. Si la velocidad medida de las ruedas delanteras es 0, el sistema deshabilitará el sistema de dirección.

Requerimientos relacionados: [RF-2.5.](#)

Estado: [Validado - 25/02/2021](#)

RF-72. Si el sistema recibe una orden de giro y la velocidad medida de alguna de las ruedas delanteras es 0, el sistema ignorará la orden.

Estado: [Validado - 25/02/2021](#)

RF-73. El sistema determinará si debe procesar una orden de giro, y en tal caso determinará cuál es el sentido de giro, a partir del ángulo de giro de referencia  $ang_{ref}$ , el ángulo de giro medido  $ang_{medido}$  y el ángulo mínimo de giro  $GIRO_{min}$ .

Requerimientos relacionados: [RF-27.](#) [RF-40.](#) [RF-69.](#)

Estado: [Validado - 25/02/2021](#)

RF-73.1. El ángulo mínimo de giro  $GIRO_{min}$  será el valor asignado a  $m$  usado en el cómputo descrito en [RF-69.1.](#)

Estado: [Validado - 25/02/2021](#)

RF-73.2. El sistema calculará el error de giro  $\epsilon_{giro}$ , de la siguiente manera. Siendo  $ang_{ref}$  el ángulo de referencia y  $ang_{medido}$  el ángulo medido,

$$\epsilon_{giro} = |ang_{ref} - ang_{medido}|$$

Estado: [Validado - 25/02/2021](#)

RF-73.3. Si  $\epsilon_{giro} < GIRO_{min}$ , el sistema ignorará la orden de giro.

Estado: [Validado - 25/02/2021](#)

RF-73.4. Si  $\epsilon_{giro} \geq GIRO_{min} \wedge ang_{ref} > ang_{medido}$ , el sentido de giro calculado será [DERECHA](#).

Estado: [Validado - 25/02/2021](#)

RF-73.5. Si  $\epsilon_{giro} \geq GIRO_{min} \wedge ang_{ref} < ang_{medido}$ , el sentido de giro calculado será [IZQUIERDA](#).

Estado: [Validado - 25/02/2021](#)

RF-74. Si el sistema determina que se debe llevar a cabo un giro, enviará al dispositivo de giro la señal correspondiente para indicar la dirección, izquierda o derecha, según corresponda; y luego iniciará el giro.

Requerimientos relacionados: [RF-73.4.](#) [RF-73.5.](#) [RF-2.1.](#) [RF-2.2.](#)

Estado: [Validado - 25/02/2021](#)

RF-75. El sistema utilizará el temporizador con período de tiempo  $\Delta t_q$  para llevar a cabo, si corresponde, el giro de las ruedas a la posición  $ang_{ref}$  requerida. Para esto, el sistema enviará en cada marca de tiempo, una **señal de pulso** al dispositivo de dirección.

Requerimientos relacionados: [RF-57.](#) [RF-2.3.](#)

Estado: [Validado - 25/02/2021](#)

RF-75.1. La señal que el sistema enviará será binaria y será enviada en forma secuencial alternando sus valores.

Estado: [Validado - 25/02/2021](#)

RF-75.2. En cada marca de tiempo el sistema enviará, al dispositivo de dirección, la señal correspondiente hasta que la posición de referencia ( $ang_{ref}$ ) sea alcanzada. Esto es, hasta que  $ang_{medido} = ang_{ref}$ .

Estado: [Validado - 25/02/2021](#)

RF-76. Cada vez que se inicie un período de tiempo  $\Delta T$ , el sistema deberá leer las órdenes a procesar y obtener las mediciones del dispositivo de giro y de las ruedas; luego, deberá calcular y enviar las señales correspondientes a estos últimos; y finalmente, deberá enviar a la PC las mediciones y los cálculos realizados.

Estado: [Validado - 25/02/2021](#)

Los tres pasos mencionados son detallados a continuación.

RF-76.1. **Paso 1.** El sistema deberá leer las órdenes provenientes de la PC o del CR y obtener las mediciones correspondientes al dispositivo de dirección y de las ruedas. Esto implica llevar a cabo el siguiente conjunto de acciones.

- Medir la posición de cada rueda.  
Requerimientos relacionados: [RF-51.](#)
- Medir la velocidad de cada rueda.  
Requerimientos relacionados: [RF-52.](#)
- Medir la corriente de cada rueda.  
Requerimientos relacionados: [RF-59.](#)
- Medir la posición del dispositivo de dirección.  
Requerimientos relacionados: [RF-69.](#)
- Si no hay una orden proveniente de la PC de cambio de modo, leer las órdenes de acuerdo al modo del sistema.  
Requerimientos relacionados: [RF-14.](#) [RF-30.](#)
- Si hay una orden proveniente de la PC de cambio de modo, cambiar el modo y leer las otras órdenes de acuerdo al nuevo modo en que esté funcionando el sistema.
  - Si el sistema está en modo PC y la orden es cambiar a modo CR, cambiar el modo y leer las posibles órdenes provenientes del CR.  
Requerimientos relacionados: [RF-14.](#) [RF-31.](#)
  - Si el sistema está en modo CR y la orden es cambiar a modo PC, cambiar el modo y leer las posibles órdenes provenientes de la PC.  
Requerimientos relacionados: [RF-28.](#) [RF-30.](#) [RF-31.](#)

Estado: [Validado - 25/02/2021](#)

RF-76.2. **Paso 2.** El sistema deberá calcular los valores correspondientes y enviar las señales al dispositivo de dirección y a las ruedas. Esto implica llevar a cabo el siguiente conjunto de acciones.

- Determinar si debe detener el robot y en tal caso enviar la orden de frenado.  
Requerimientos relacionados: [RF-24.](#) [RF-28.](#) [RF-3.](#)
- Calcular el sentido de avance de las ruedas requerido.  
Requerimientos relacionados: [RF-22.2.](#) [RF-22.3.](#) [RF-28.](#)
- Calcular la tensión a enviar a cada rueda.  
Requerimientos relacionados: [RF-56.](#) [RF-63.](#) [RF-64.](#)
- Calcular la dirección de giro requerida.  
Requerimientos relacionados: [RF-73.](#)
- Determinar si se requiere un cambio de sentido y en tal caso llevarlo a cabo.  
Requerimientos relacionados: [RF-23.](#) [RF-22.2.](#) [RF-22.3.](#) [RF-28.](#) [RF-68.](#) [RF-67.](#) [RF-1.1.](#)
- Establecer la tensión calculada a cada rueda.  
Requerimientos relacionados: [RF-65.](#) [RF-1.2.](#)
- Determinar si se debe realizar un giro; en tal caso, determinar en qué dirección y enviar la señal correspondiente.  
Requerimientos relacionados: [RF-73.](#) [RF-74.](#)

- Luego de haber sido establecida la dirección, llevar a cabo el giro.  
Requerimientos relacionados: [RF-75](#).

Estado: [Validado - 25/02/2021](#)

RF-76.3. **Paso 3.** El sistema deberá enviar a la PC las mediciones obtenidas y los resultados de los cálculos. Esto implica llevar a cabo el siguiente conjunto de acciones.

- Enviar la posición medida de cada rueda.  
Requerimientos relacionados: [RF-51](#).
- Enviar la velocidad medida de cada rueda.  
Requerimientos relacionados: [RF-52](#).
- Enviar la corriente medida de cada rueda.  
Requerimientos relacionados: [RF-59](#).
- Enviar la posición del dispositivo de dirección.  
Requerimientos relacionados: [RF-69](#).
- Enviar el sentido de avance calculado de las ruedas.  
Requerimientos relacionados: [RF-22.2](#). [RF-22.3](#). [RF-28](#).
- Enviar la tensión calculada para cada rueda.  
Requerimientos relacionados: [RF-56](#). [RF-63](#). [RF-64](#).
- Enviar el modo en el que se procesó la orden.  
Requerimientos relacionados: [RF-4](#).
- Enviar si hubo una orden de frenado.  
Requerimientos relacionados: [RF-14](#). [RF-28](#).

Estado: [Validado - 19/03/2021](#)

RF-77. El mensaje que el sistema deberá enviar a la PC, deberá tener el siguiente formato.<sup>3</sup>

```
( <modo> , <rpmDD> , <posDD> , <tensDD> , <cteDD> ,  
  <rpmDI> , <posDI> , <tensDI> , <cteDI> ,  
  <rpmTD> , <posTD> , <tensTD> , <cteTD> ,  
  <rpmTI> , <posTI> , <tensTI> , <cteTI> ,  
  <freno> , <dirección> , <sentido> , \r\n )
```

Requerimientos relacionados: [RF-76.3](#).

Estado: [Validado - 19/03/2021](#)

RF-77.1. *<modo>* asumirá los caracteres 0 o 1.

- Si *<modo>* es 0 el mensaje indicará que el modo en el que se procesó la orden es CR.
- Si *<modo>* es 1 mensaje indicará que el modo en el que se procesó la orden es PC.

Estado: [Validado - 19/03/2021](#)

RF-77.2. *<rpmDD>*, *<rpmDI>*, *<rpmTD>* y *<rpmTI>* son secuencias de caracteres numéricos representando valores, que indican la velocidad medida en RPM de la rueda delantera derecha, a la delantera izquierda, a la trasera derecha y a la trasera izquierda, respectivamente.

Requerimientos relacionados: [RF-7](#). [RF-8](#).

Estado: [Validado - 19/03/2021](#)

RF-77.3. *<posDD>*, *<posDI>*, *<posTD>* y *<posTI>* son secuencias de caracteres numéricos, representando valores que determinan la posición medida de la rueda delantera derecha, delantera izquierda, trasera derecha y trasera izquierda, respectivamente.

Requerimientos relacionados: [RF-51](#).

Estado: [Validado - 19/03/2021](#)

RF-77.4. *<tensDD>*, *<tensDI>*, *<tensTD>* y *<tensTI>* son secuencias de caracteres numéricos, representando valores que determinan la tensión calculada de la rueda delantera derecha, delantera izquierda, trasera derecha y trasera izquierda, respectivamente.

Requerimientos relacionados: [RF-11](#).

Estado: [Validado - 19/03/2021](#)

<sup>3</sup>Los caracteres que se escriben con letra **typewriter** son literales (en una gramática serían símbolos terminales). En este caso son: '(', ')', ',', '\r', '\n' y ')'. Las expresiones en letra *italica* entre '*<*' y '*>*' se utilizan para nombrar una secuencia de caracteres que luego será descripta.

RF-77.5.  $\langle cteDD \rangle$ ,  $\langle cteDI \rangle$ ,  $\langle cteTD \rangle$  y  $\langle cteTI \rangle$  son secuencias de caracteres numéricos, representando valores que determinan la corriente medida de la rueda delantera derecha, delantera izquierda, trasera derecha y trasera izquierda, respectivamente.

Estado: Validado - 19/03/2021

RF-77.6.  $\langle freno \rangle$  asumirá los caracteres 0 o 1.

- Si  $\langle freno \rangle$  es 0 el mensaje indicará que no hubo una orden de frenado.
- Si  $\langle freno \rangle$  es 1 el mensaje indicará que hubo una orden de frenado.

Estado: Validado - 19/03/2021

RF-77.7.  $\langle dirección \rangle$  es una secuencia de caracteres numéricos, representando un valor que establece la posición medida del dispositivo de dirección.

Estado: Validado - 19/03/2021

RF-77.8.  $\langle sentido \rangle$  asumirá los caracteres 0 o 1 indicando el sentido de avance de las ruedas, calculado.

- Si  $\langle sentido \rangle$  es 0 el mensaje indicará que el sentido de movimiento de las ruedas es hacia atrás.
- Si  $\langle sentido \rangle$  es 1 el mensaje indicará que el sentido de movimiento de las es hacia adelante.

Estado: Validado - 19/03/2021

## 4. Glosario

**ADC** Conversor Analógico Digital. De las siglas en inglés *analog-to-digital converter*.

**MCU** Microcontrolador (de las siglas en inglés *microcontroller unit*).

**control de dirección** Dispositivo de hardware que permite controlar la dirección del robot, orientando las ruedas delanteras del mismo.

**DD** Rueda delantera-derecha del robot.

**DI** Rueda delantera-izquierda del robot.

**TD** Rueda trasera-derecha del robot.

**TI** Rueda trasera-izquierda del robot.

**ciclo de ejecución** Conjunto determinado de acciones que el sistema deberá llevar a cabo, cada un cierto período de tiempo  $\Delta T$ .

$\Delta T$  Período de tiempo asociado a un ciclo de ejecución.

**CR** Control remoto. El control remoto cuenta con un gatillo que permite presionar el mismo hacia adelante y hacia atrás para que el robot avance o retroceda a velocidades que dependen de la presión sobre el gatillo. Las presiones hacia adelante y hacia atrás del gatillo serán traducidas como valores positivos y negativos respectivamente. El control remoto cuenta con una perilla que puede ser girada a distintos grados. Este grado de giro establecerá que el robot gire a izquierda o a derecha.

**PC** Computadora (de las siglas *Personal computer*).

$vel_{ref}$  Velocidad de referencia. Valor originado a partir del gatillo del CR o de una orden proveniente de la PC.

$vel_{medida}$  Velocidad medida. Velocidad de desplazamiento de una rueda, medida en un momento particular.

$\epsilon_{vel}$  Error de velocidad. Diferencia entre la velocidad de referencia y la velocidad medida ( $vel_{ref} - vel_{medida}$ ).

$\epsilon_{velAc}$  Error de velocidad acumulado. Es la suma de los errores de velocidad  $\epsilon_{vel}$  calculados en una secuencia de ciclos de ejecución en la cual ininterrumpidamente se recibió una orden de velocidad.

$cnt_{ref}$  Corriente de referencia. Valor originado a partir de una orden proveniente de la PC.

$cnt_{medida}$  Corriente medida. Corriente de una rueda, medida en un momento particular.

$\epsilon_{cnt}$  Error de corriente. Diferencia entre la corriente de referencia y la corriente medida ( $cnt_{ref} - |cnt_{medida}|$ ).



$\epsilon_{cntAc}$  Error de corriente acumulado. Suma de todos los errores de corriente  $\epsilon_{cnt}$  calculados en una secuencia de ciclos de ejecución en la cual ininterrumpidamente se recibió una orden de corriente.

$GIRO_{min}$  Valor mínimo de giro que el sistema tendrá en cuenta para procesar un pedido de giro.

$ang_{medido}$  Ángulo medido. Es el ángulo de la posición de giro medida en la que se encuentran las ruedas.

$ang_{ref}$  Ángulo de referencia. Valor originado a partir la perilla del CR o de una orden proveniente de la PC que indica cuál es la nueva posición de giro que deben tener las ruedas.

**buffer** Espacio de memoria reservado para guardar temporalmente información digital.

**RPM** Revoluciones por minuto.

**grado angular** Valores en el intervalo  $[0, 360]$ .

$\Delta \perp$  Período de tiempo asociado a la [pérdida de señal](#).

**pérdida de señal** Situación en la cual el sistema no ha recibido un mensaje por un período de tiempo mayor o igual a  $\Delta \perp$ .

**porcentaje** Valores en el intervalo  $[0, 100]$ .

**porcentaje signado** Valores en el intervalo  $[-100, 100]$ .

**pin** Contacto metálico de un conector.

**receptor de CR** Dispositivo que recibe señales del CR. Cuenta con una salida que emite una señal correspondiente a la velocidad; y con otra, que emite una señal correspondiente a la dirección. Cada salida está conectada a un pin del MCU. Los cambios de tensiones en los pines generan interrupciones que serán recibidas por el MCU.

*ADELANTE* Valor que representa el sentido hacia adelante, del movimiento de las ruedas del robot.

*ATRAS* Valor que representa el sentido hacia atrás, del movimiento de las ruedas del robot.

*DERECHA* Valor que representa la dirección de giro hacia la derecha de las ruedas del robot.

*IZQUIERDA* Valor que representa la dirección de giro hacia la izquierda de las ruedas del robot.

**ms** milisegundos.

## 5. Ítems de Cambio

- El algoritmo de control del requerimiento [RF-56.](#), que calcula el voltaje a partir de la velocidad, podría cambiar por el siguiente, o por otro.
  - Algoritmo de Control. 
$$U_{rueda} = k_P \cdot (vel_{ref} - vel_{medida})$$
- La unidad de medida de la velocidad podría cambiar.  
Requerimientos relacionados: [RF-6.](#)
- El algoritmo de control del requerimiento [RF-63.](#), que calcula el voltaje a partir de la corriente, podría cambiar por el siguiente, o por otro.
  - Algoritmo de Control. 
$$U_{rueda} = k_P \cdot (cte_{ref} - |cte_{medida}|)$$

## Referencias

- [ETCE18] Bongiovanni Esteban, Costamagna Tomás, Dellarossa Juan Cruz, and Kofman Ernesto. Informe de Proyecto: Desarrollo e Implementación de un Sistema de Tracción y Dirección en Prototipo de Robot Desmalezador. Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura. Universidad Nacional de Rosario, 2018.
- [GFSG19] Giacomino Gonzalo, Imsand Juan Facundo, Martinez Sebastián, and Migoni Gustavo. Proyecto Final de Ingeniería. Desarrollo e implementación de funciones de navegación autónoma para un prototipo de robot pulverizador. Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura. Universidad Nacional de Rosario, 2019.