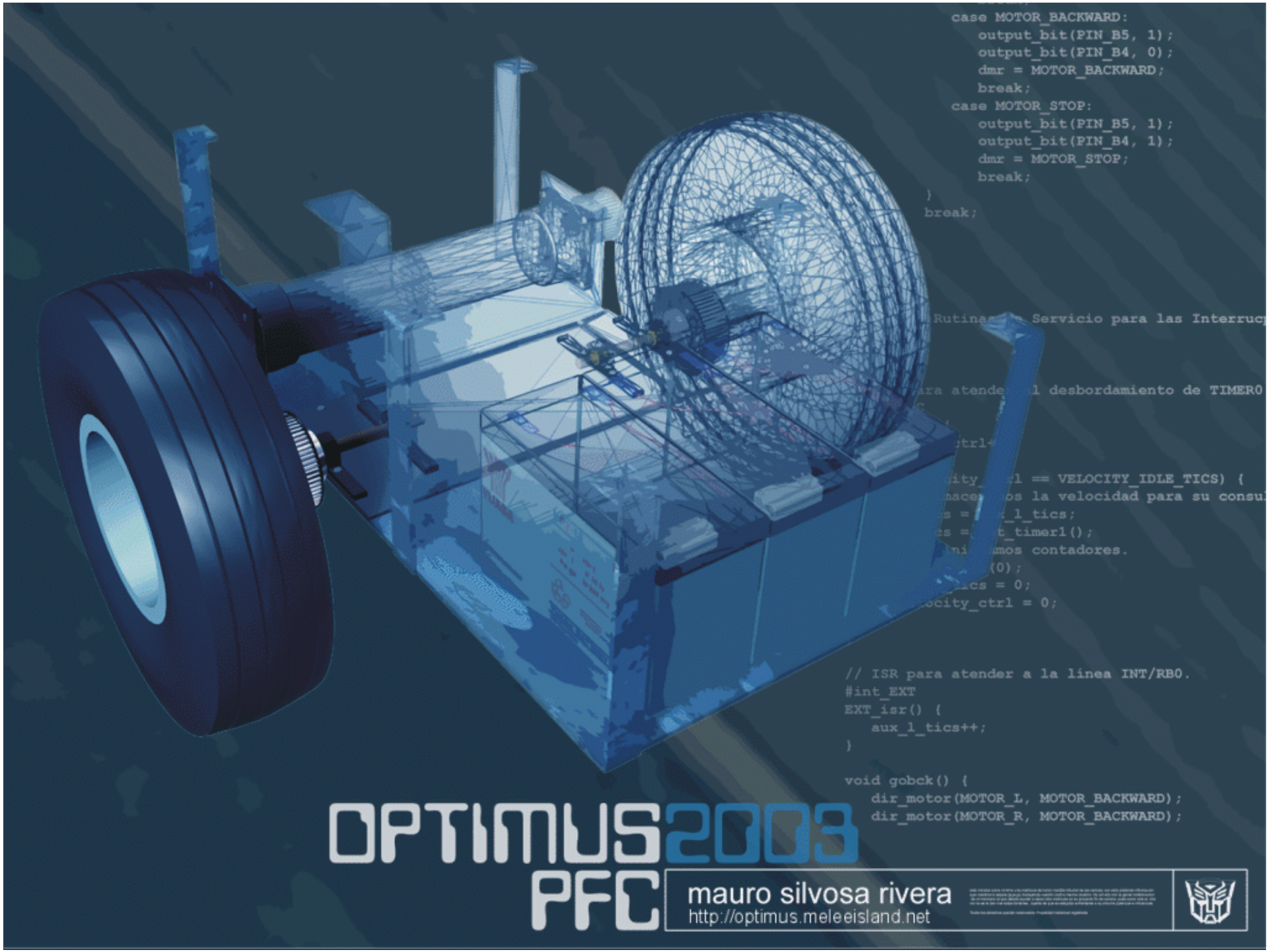

case MOTOR_BACKWARD:
output_bit(PIN_B5, 1);
output_bit(PIN_B4, 0);
dmr = MOTOR_BACKWARD;
break;
case MOTOR_STOP:
output_bit(PIN_B5, 1);
output_bit(PIN_B4, 1);
dmr = MOTOR_STOP;
break;
}
break;
// ISR para atender a la línea INT/RB0.
#int_EXT
EXT_isr() {
aux_l_tics++;
}
void gobck() {
dir_motor(MOTOR_L, MOTOR_BACKWARD);
dir_motor(MOTOR_R, MOTOR_BACKWARD);
OPTIMUS2003
PFC
mauro silvosa rivera
http://optimus.meleeisland.net

Diseño y construcción de la base de un robot móvil autónomo gobernada por microcontrolador

Mauro Silvosa Rivera

Tutor: Carlos Vázquez Regueiro

OBJETIVOS:

Diseño y construcción de una base de un robot móvil autónomo, gobernada por microcontrolador:

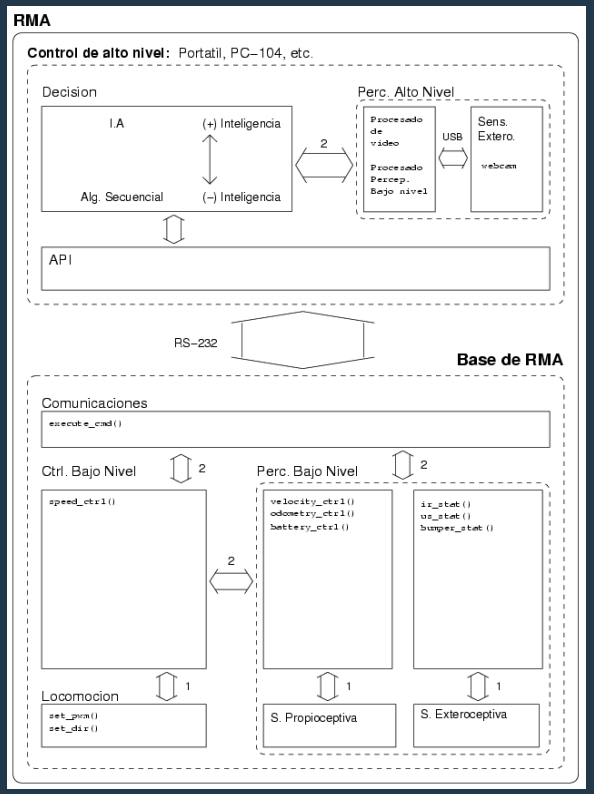
- Sencilla
- Fácil de implementar
- De bajo coste
- Con buenas prestaciones
- Versátil

CONTENIDO DE LA EXPOSICIÓN:

1. Introducción
2. Diseño de la plataforma
3. Diseño del control
4. Diseño de la API
5. Validación experimental
6. Conclusiones y trabajo futuro

1. Introducción

Estructura hardware / software de la base de un robot móvil autónomo.

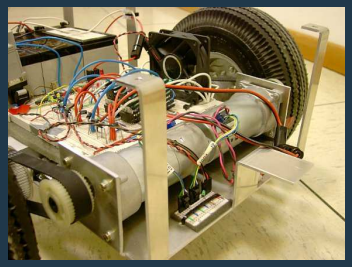
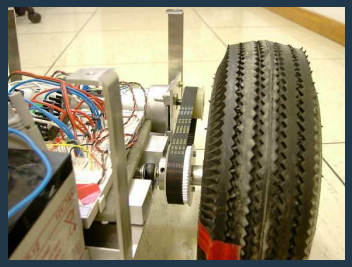


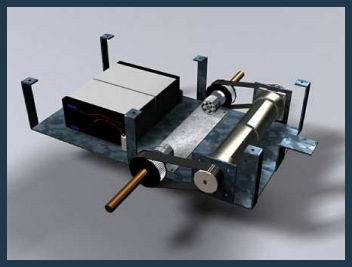
2. Diseño de la plataforma

- Etapa mecánica
- Electrónica de potencia y control de motores
- Control por microcontrolador y comunicaciones
- Características finales de la base de robot móvil

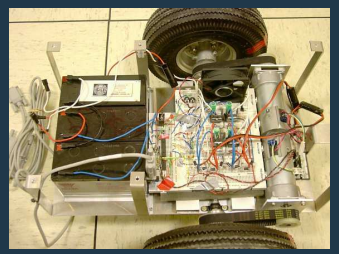
2.1 Etapa mecánica

- Motores DC y encoders ópticos
- Transmisión
- Ruedas
- Chasis

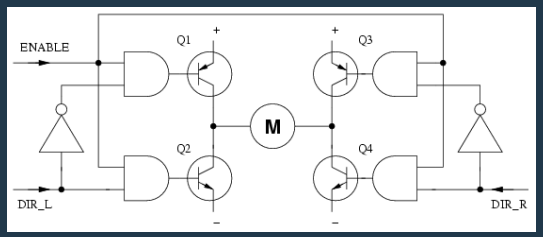





2.2 Electrónica de potencia y control de motores



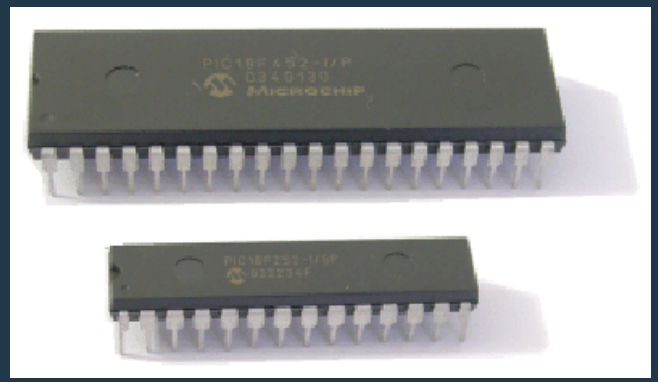
- Baterías
  - Motores: 24 V, 7 Ah
  - Control y comunicaciones: 12 V, 7 Ah (regulada a 5 V, 1 A)
- Control de motores
  - Mediante puentes-H: Interfaz entre el microcontrolador (poca tensión y bajas corrientes) y los motores (alta tensión y grandes corrientes).



2.3 Control por microcontrolador y comunicaciones (I)

- Motivación: integrar en un único C.I. la electrónica necesaria para el control y la percepción de bajo nivel de la base y la gestión de las comunicaciones

- Comunicaciones: línea serie RS-232 a 115000 bps



2.3 Control por microcontrolador y comunicaciones (II)

Características principales del PIC18F252:

- Módulo de comunicaciones serie RS-232
- 4 contadores: 2 para el uso exclusivo de los encoders
- Múltiples puertos de E/S: control de motores
- 2 módulos PWM: control de velocidad
- Conversores A/D: monitorizar la carga de las baterías
- Potente: hasta 10 MIPS con CPI=1 (CPI=2 en saltos)
- Programable en C

Proporciona los recursos suficientes para ejecutar todas las tareas necesarias para el control de la base de robot móvil

2.4 Características de la base de robot móvil

- Dimensiones: 540 x 520 x 265 mm (Largo x Ancho x Alto)
- Peso: 15 Kg
- Autonomía: 4-7 h
- Diámetro de las ruedas: 260 mm
- Distancia al suelo (vuelo): 85 mm
- Velocidad máxima y mínima: 2,8 m/s - 300 mm/s
- Precio: 495,68 €

3. Diseño del control

- Estructura de capas del software de control
- Funcionalidad dependiente del hardware
  - Cálculo de la velocidad de las ruedas
  - Cálculo del nivel de carga de las baterías
  - Recepción de datos por la línea serie RS-232
- Funcionalidad independiente del hardware
  - Control de la velocidad
  - Control del nivel de carga de las baterías
  - Cálculo de la odometría
  - Intérprete de comandos
- Planificador de tareas

3.1 Estructura de capas del software de control

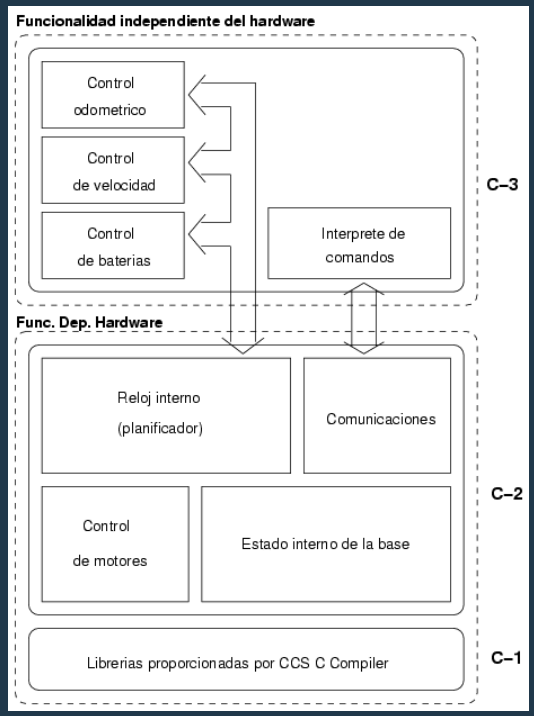
- Ventajas: portabilidad, inteligibilidad, legibilidad, fiabilidad y rapidez de desarrollo.

- Inconvenientes: mayor consumo de memoria.

  C-1: Funciones librería del compilador. Dependencia directa del hardware.

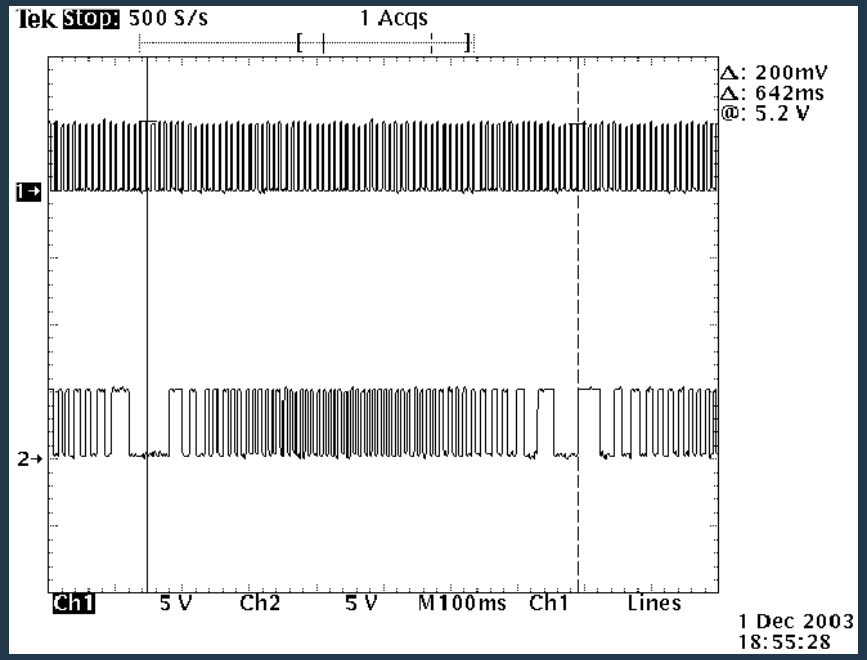
  C-2: Funcionalidad dependiente del compilador y del hardware.

  C-3: Algoritmos de control e intérprete de comandos. Independientes de hardware y compilador.



3.2.1 Cálculo de la velocidad de las ruedas

- Contar los pulsos generados por cada encoder en un intervalo de tiempo regular y almacenar en vector de estado




```
#int_TIMER3
TIMER3_isr() {

   set_timer3(T3_INIT_VALUE);
   time_inc_internal_time();

   // CALCULAMOS LA VELOCIDAD.
   velocity_ctrl++;
   if (velocity_ctrl == VEL_WORKING_CICLE) {

      vel_set_real_tics(MOTOR_LEFT, get_timer0());
      vel_set_real_tics(MOTOR_RIGHT, get_timer1());

      // Reiniciamos contadores.
      set_timer1(0);
      set_timer0(0);
      velocity_ctrl = 0;
   }
}
```

3.2.2 Cálculo del nivel de carga de las baterías

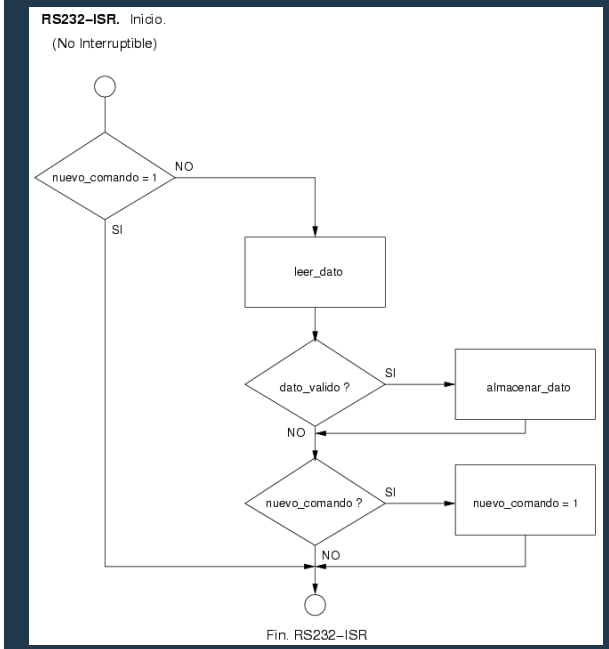
- Leer las entradas de los conversores A/D conectados a las baterías y almacenar en el vector de estado

```
#int_TIMER3
TIMER3_isr() {

   set_timer3(T3_INIT_VALUE);
   time_inc_internal_time();

   // CONTROLAMOS EL NIVEL DE CARGA ACTUAL DE LAS BATERÍAS.
   battery_ctrl++;
   if (battery_ctrl == BATTERY_CTRL_WORKING_CICLE) {

      set_adc_channel(0);
      pwr_set_battery_level(LOGIC_BATT, (unsigned int16) read_adc() * LOGIC_TOVOLTS);

      do_battery_ctrl();
      battery_ctrl = 0;
   }
}
```

3.2.3 Recepción datos por la línea serie RS-232

- Con cada interrupción hardware de la línea RS-232 se almacena el dato recibido. Activa un flag cuando recibe un "fin de comando".

```
#int_RDA
RDA_isr() {
   char aux;

   aux = getc();
   if (buffer_current_pos < BUFFER_SIZE && !new_command) {
      if (!(isalnum(aux) || aux==CR || aux==LF || aux==SP || aux=='-' ||
            aux=='_' || aux=='.'))
         return;

      if (aux == CR || aux == LF) {
         buffer[buffer_current_pos] = ' ';
         buffer[buffer_current_pos+1] = '\0';
         new_command = 1;
         buffer_current_pos = 0;
         return;
      }

      buffer[buffer_current_pos] = aux;
      buffer_current_pos++;
   }
}
```

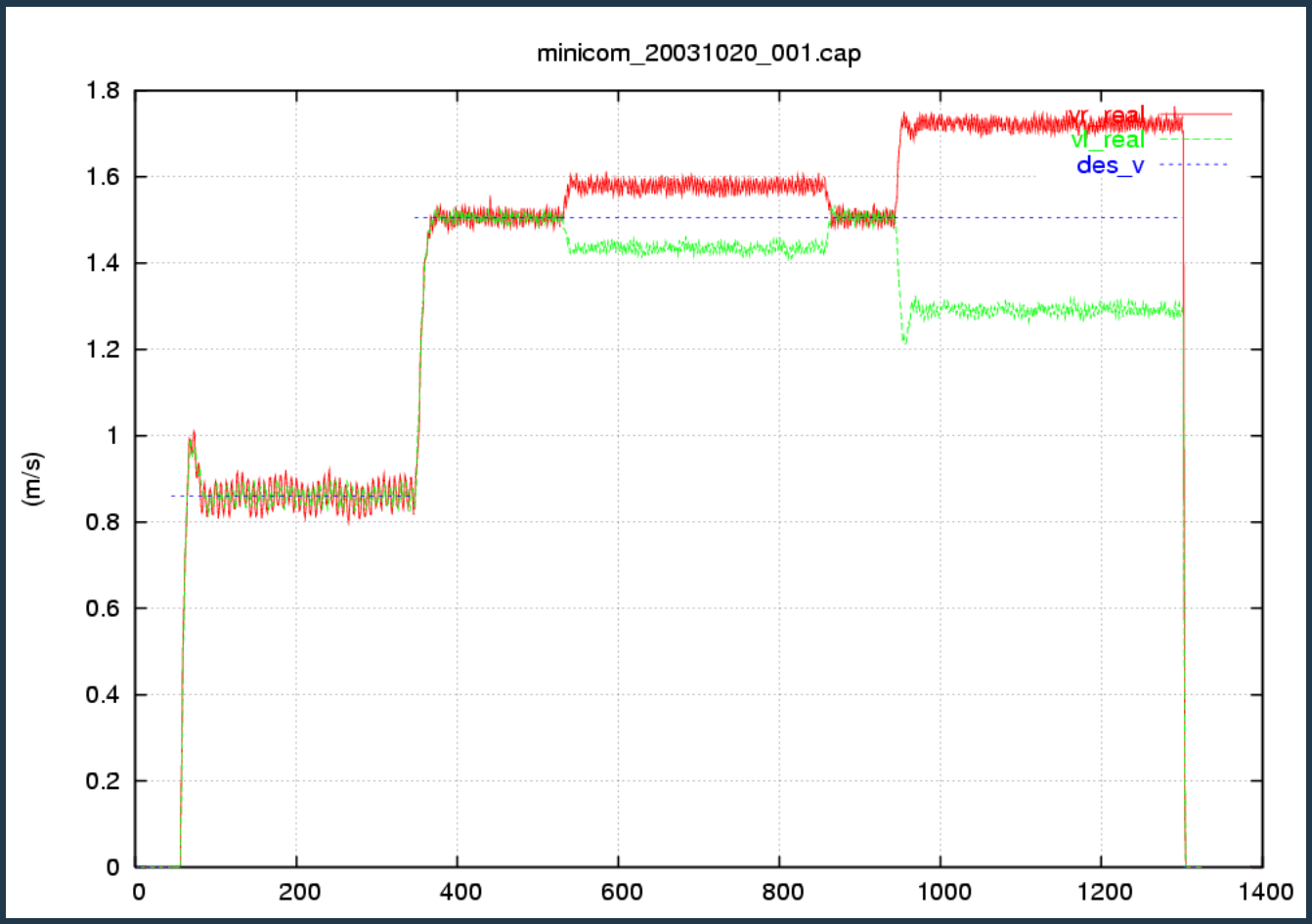


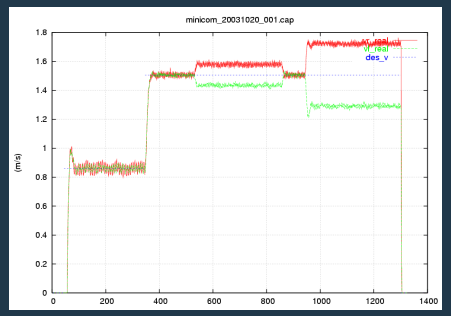
3.3.1 Control de la velocidad (I)

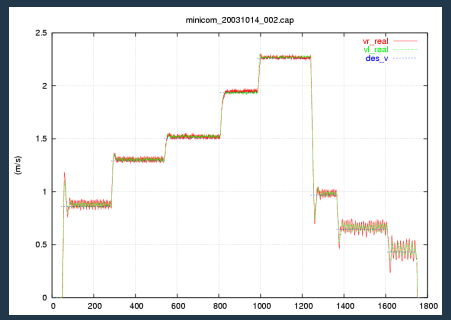
- Modificación del ciclo de trabajo de las señales PWM en función de la diferencia entre la velocidad real y la deseada (control PI).
- Los giros se realizan incluyendo un desplazamiento o "bias".

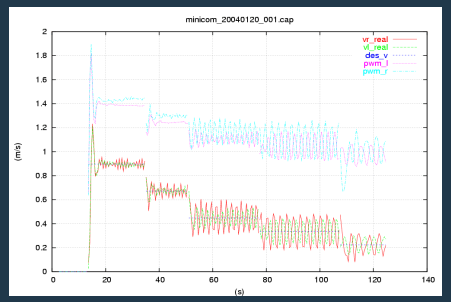
```
vl_real = vel_get_real_tics(MOTOR_LEFT);
vr_real = vel_get_real_tics(MOTOR_RIGHT);

bias_error = (bias_error + (vel_get_des_bias() - (vr_real - vl_real))) / _ki;

vl_error = vel_get_des_vel() - vel_get_des_bias()/2 - vl_real - bias_error;
vr_error = vel_get_des_vel() + vel_get_des_bias()/2 - vr_real + bias_error;

vl_error = vl_error / get_kp(vl_error);
vr_error = vr_error / get_kp(vr_error);

pwm_set_duty_cicle(MOTOR_LEFT, pwm_get_duty_cicle(MOTOR_LEFT) + vl_error);
pwm_set_duty_cicle(MOTOR_RIGHT, pwm_get_duty_cicle(MOTOR_RIGHT) + vr_error);
```

3.3.1 Control de la velocidad (y II)







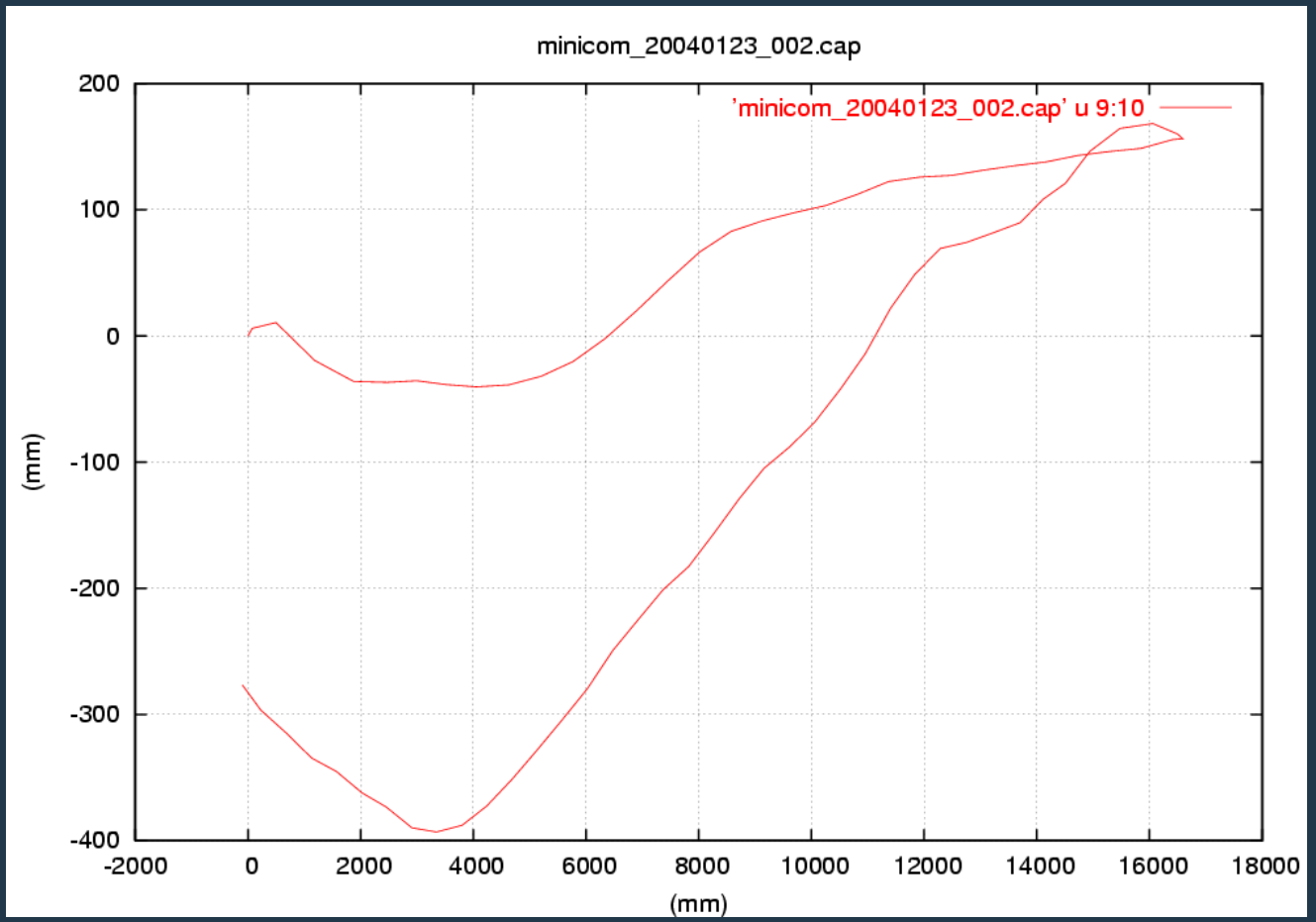


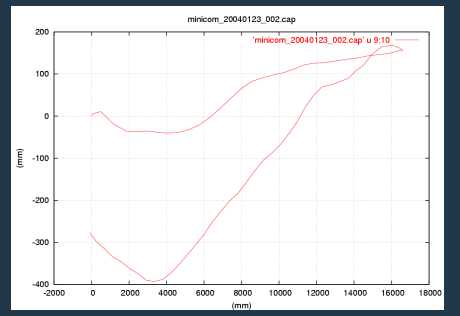
3.3.2 Cálculo de la odometría (I)

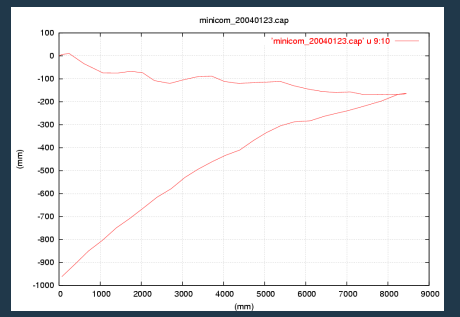
- Con cada actualización de velocidad se recalcula la posición de la base, en función del desplazamiento lineal de cada rueda (Dl y Dr)

```
tl = (float) vel_get_real_tics(MOTOR_LEFT) * ODOMETRY_F;
tr = (float) vel_get_real_tics(MOTOR_RIGHT) * ODOMETRY_F;
tc = (tr + tl) / 2;
dth = (tr - tl) / ODOMETRY_B;

odo_set_th(odo_get_th() + dth);
while (odo_get_th() >= DOS_PI) odo_set_th(odo_get_th() - DOS_PI);

odo_set_x(odo_get_x() + tc * cos(odo_get_th()));
odo_set_y(odo_get_y() + tc * sin(odo_get_th()));
```

3.3.2 Cálculo de la odometría (y II)



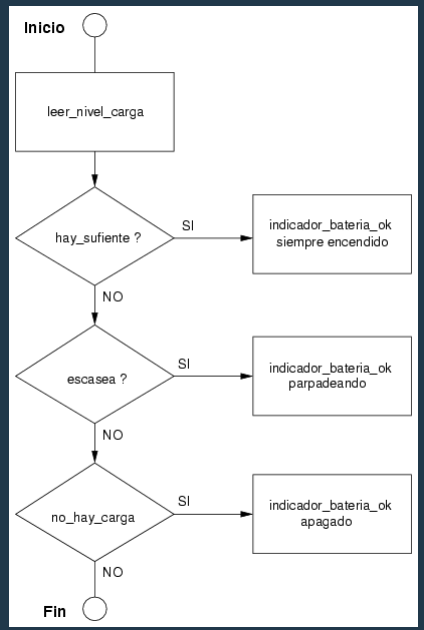




3.3.3 Control del nivel de carga de las baterías

- Monitorización regular del valor de tensión de las baterías. Al bajar de un cierto nivel un led comienza a parpadear. Al agotarse, la base se detiene y entra en modo de bajo consumo (sleep).

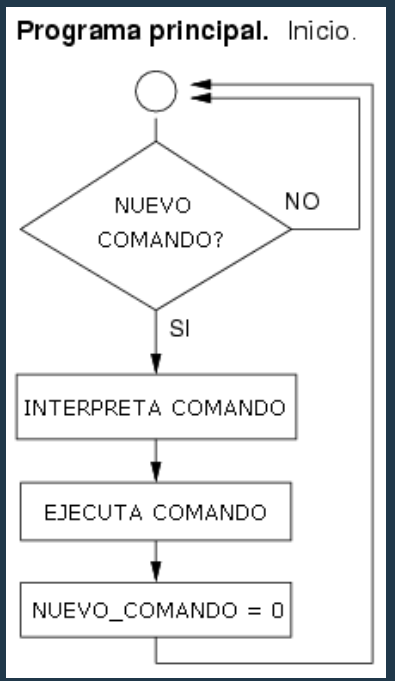
```
if (pwr_get_battery_level(LOGIC_BATT) > BLINK_START)
    pwr_set_battery_led(LOGIC_BATT, BATT_LED_ON);
else {
  if (pwr_get_battery_level(LOGIC_BATT) > LOW_BATTERY &&
     pwr_get_battery_level(LOGIC_BATT) < BLINK_START) {
     if (!blink_led) {
        pwr_set_battery_led(LOGIC_BATT, BATT_LED_ON);
        blink_led = 1;
     }
     else {
        pwr_set_battery_led(LOGIC_BATT, BATT_LED_OFF);
        blink_led = 0;
     }
  }
  else {
     pwr_set_battery_led(LOGIC_BATT, BATT_LED_OFF);
     printf("# ERR. Optimus Panic! Out of battery");
     sleep();
  }
}
```



3.3.4 Intérprete de comandos

- Se ejecuta un comando si:
  1. La CPU no está ocupada en tareas prioritarias de control.
  2. Se ha recibido previamente la señal de "fin de comando".

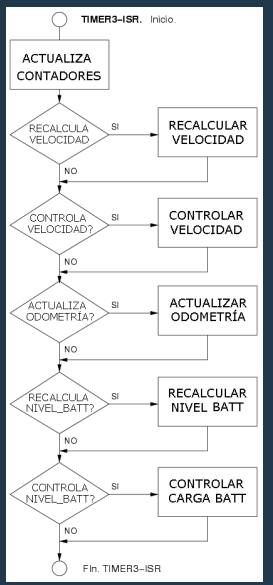
```
void execute_cmd(char *cmd_line) {
   ...
   ptr = my_strtok(cmd_line, ' ');
   switch (identify_cmd(ptr)) {
      case COD_STAT:
         _get_status();
         break;
      case COD_SETVEL:
         vel_set_desired(atol(my_strtok(0, ' ')),
                         atol(my_strtok(0, ' ')));
         printf(STR_OK);
         break;
      ...
   }
   ...
}
```



3.4 Planificador de tareas

- Implementación:
  1. Configurar la interrupción por desbordamiento de TIMER3, para que interrumpa a la CPU cada 100 ms.
  2. En la rutina de servicio de la interrupción se determina qué tareas se deben ejecutar y se ejecutan.

```
#int_TIMER3
TIMER3_isr() {
   ...
   velocity_ctrl++;
   if (velocity_ctrl == VEL_WORKING_CICLE) {   // Recalcula velocidad
      check_velocity();
      velocity_ctrl = 0;
   }
   speed_ctrl++;
   if (speed_ctrl == SPEED_CTRL_WORKING_CICLE) {   // Controla velocidad
      do_speed_control(_do_stop());
      speed_ctrl = 0;
   }
   odo_ctrl++;
   if (odo_ctrl == ODOMETRY_CTRL_WORKING_CICLE) {   // Actualiza odometría
      do_odometry_ctrl();
      odo_ctrl = 0;
   }
   ...
}
```

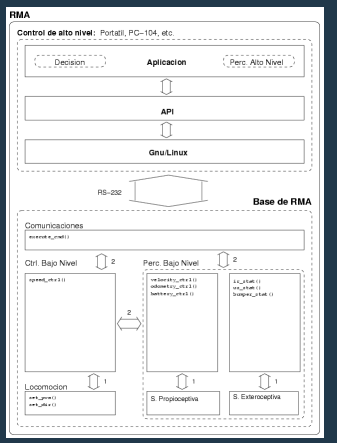


4. Diseño de la API

- Motivación: proporcionar al programador del control y percepción de alto nivel una interfaz software que le permita aprovechar toda la funcionalidad de la base al tiempo que le oculta los detalles de implementación del control y el protocolo de comunicaciones.

- Ventajas: las derivadas del diseño por capas: legibilidad, fiabilidad, portabilidad e independencia (del hardware).

- Tipos y listado de las funciones más importantes.



4.1 Listado de las funciones más importantes

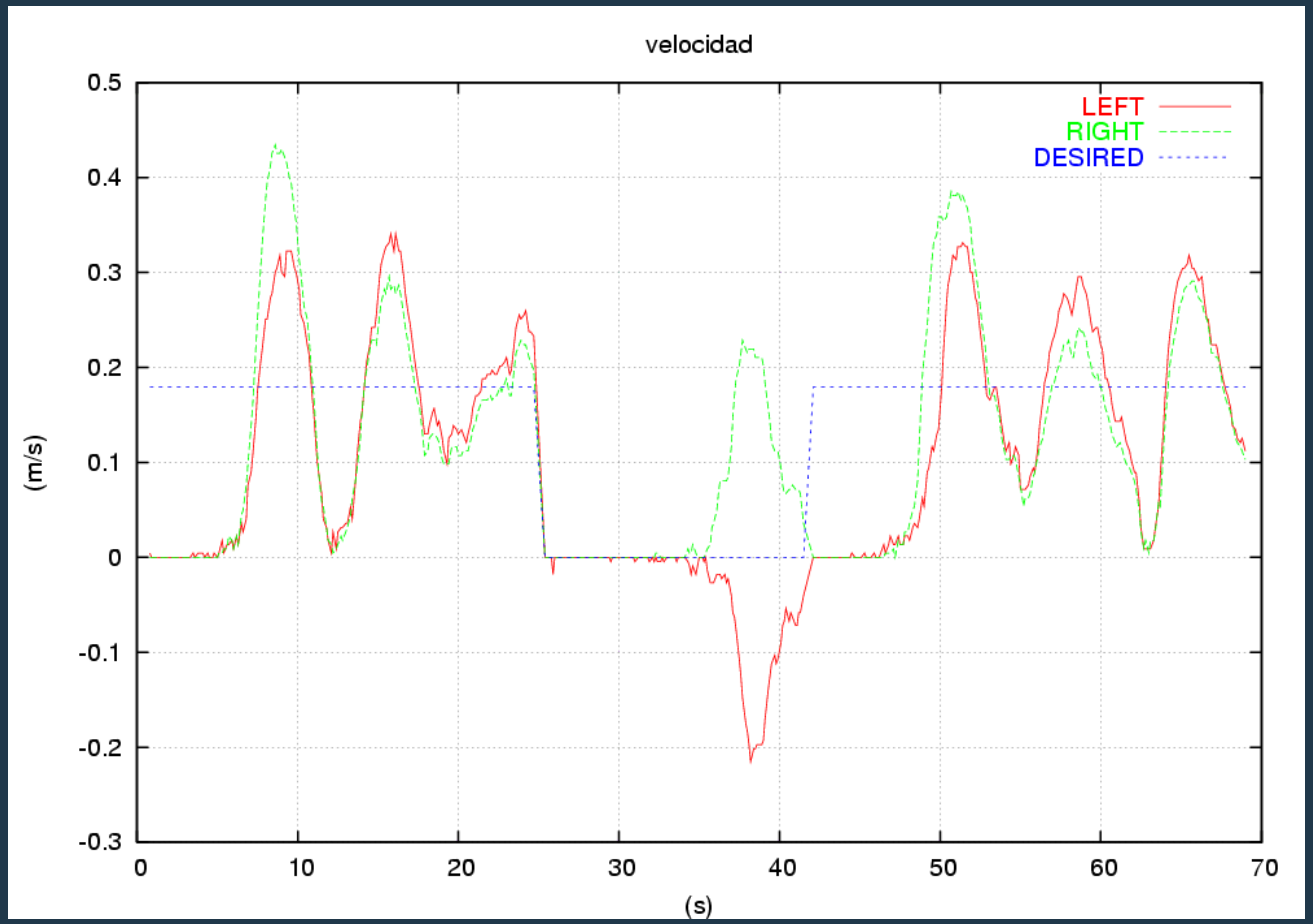
- 3 tipos: para ocultar comunicaciones, control y estado de la base.

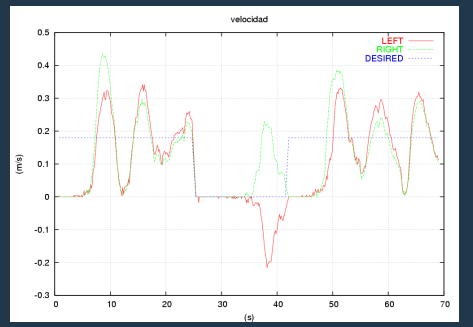
Comunicaciones	Estado	Control
`int connect()`	`int read_status()`	`void set_pose()`
`int disconnect()`	`int get_internal_time()`	`void set_time()`
	`int get_left_vel()`	`void set_vel()`
	`float get_pos_x()`	`void_stop()`
	`float get_logic_batt()`	`void_free_stop()`

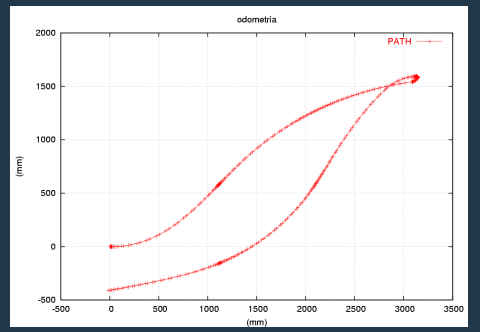
5. Validación experimental

- Vídeo ejemplo
- Resultados
- Discusión

5.1 Resultados







5.2 Discusión

- A la vista de los resultados podemos concluir que:

  1. El control no consigue mantener estable la dirección de la base
  2. Tampoco consigue mantener velocidades pequeñas constantes
  3. El tiempo de respuesta es muy grande

- Las razones de estos problemas son fundamentalmente mecánicas: diseño del chasis, tamaño de las ruedas, transmisión, rodamientos, motores, precisión encoders, ...

- Subsanados estos errores de diseño hay motivos suficientes para pensar que el control implementado es estable

6. Conclusiones (I)

- Se ha diseñado y construido una base de robot móvil de bajo coste a partir de sus componentes básicos: motores, chasis, ...

- La base implementa todas las funciones de bajo nivel de un robot móvil autónomo comercial: percepción, control y comunicaciones:
  - odometría, carga de las baterías, ...
  - control en velocidad lineal y angular
  - comunicaciones vía puerto serie

- Para simplificar la electrónica el control se ha basado en un microcontrolador (μC): el PIC18F252

- Los recursos de este μC nos permiten controlar todos los elementos necesarios de la base

6. Conclusiones (y II)

- La programación del microcontrolador se ha estructurado en capas y se ha codificado en lenguaje C:
  - independencia del hardware
  - facilita la migración a otros microcontroladores

- Todas las tareas de control (odometría, control de velocidad, ...) se logran ejecutar en tiempo real

- También se ha desarrollado una sencilla interfaz para las comunicaciones y el control de la base

- La odometría implementada posee una buena precisión aunque el control de la velocidad es algo deficiente

6. Trabajo futuro

- Mejoras mecánicas: desplazar el centro de gravedad del vehículo hacia el eje motriz, aumentar factores de reducción, ...
- Trabajar con encoders de cuadratura para aumentar la precisión del control
- Mejora del control usando la velocidad media y no la instantánea a velocidades bajas
- Proporcionar la capacidad de añadir sensores a la base
- Definir una arquitectura de múltiples µC's (bus I2C) dedicados a a las distintas tareas de control

http://optimus.meleeisland.net