

CONSTRUCCIÓN DEL PLANO DE ENTORNOS DE TRABAJO CERRADOS UTILIZANDO EL ROBOT KOALA

Alejandro Gil Vázquez

Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tláhuac

ing.gil@ittlahuac.edu.mx

Rubén Senén García Ramírez

Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Puebla

rubensenen@hotmail.com

Violeta Martínez Ramírez

Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Puebla

violetmartinezr@gmail.com

Resumen

En el presente trabajo de investigación se analizó, diseñó e implementó un control vía software adaptado específicamente para un robot móvil de ruedas (RMR): el robot Koala de la empresa K-Team, el cual sirvió como plataforma experimental para manipular –inicialmente- e incrementar posteriormente de forma paulatina y definitiva la autonomía del robot.

El software de control inicia con el análisis y documentación de la estructura física y lógica del Koala, su comportamiento, capacidades y limitantes. Se analizó la cinemática del RMR, propiedades de componentes y dispositivos de comunicación como sensores y puertos. En la etapa de diseño, se trabajó con la información alimentada del exterior por el robot, estructurando la misma en: las decisiones, reconocimiento del entorno (obstáculos, espacios), estrategias de referencia, ubicación y desplazamiento, tiempos y movimientos entre otros, que dieron forma en gran medida al control y autonomía del robot. Se implementó en lenguaje C/C++ Borland.

Palabras clave: Robots móviles, trayectorias, cinemático, sensores.

Abstract

In the following research it was analyzed, designed and implemented a control by software specifically adapted to a mobile robot of wheels (RMR): the Koala robot of the K-Team enterprise, which was utilized as experimental platform to manipulate -to beginning- and eventually increase of a paulatine form the robot autonomy.

The control software starts with the analyze and documentation of physical structure and logical of the Koala, its behaviour, capacities and limitations. It was analyzed the RMR kinematics, properties of components and communication devices such as ports and sensors. In the design stage, it was worked with the obtained information of outdoors by the robot, structuring the same in: the decisions, recognition of the environment (obstacles, outdoors), referency strategies, location and displacement, times and movements between others, that made it possible mainly to the control and robot autonomy. It was implemented through C/C++ Borland language.

Keywords: *Mobile robots, Paths, Kinematics, Sensors.*

1. Introducción

Un robot es un mecanismo constituido por dispositivos electrónicos, mecánicos y de computación, está formado por: software y hardware. El primero da autonomía al robot y controla el mecanismo. Esta autonomía es la que diferencia a un robot de otras formas de automatización. Existen básicamente dos tipos de robots: los fijos, su giro es principalmente industrial y realizan tareas tales como: ensamble de coches, pintura, embarque, entre otras, trabajando en ambientes altamente controlados para los cuales fueron diseñados. El otro tipo de robots se refieren al caso de la robótica móvil, los robots se desplazan en su entorno. Uno de los retos consiste en caracterizar dicho entorno a través de sensores, identificar obstáculos y zonas de paso, e incluso ubicarse con la mayor precisión posible con respecto a un sistema de referencia dado [3].

En la actualidad, los robots móviles son desarrollados con características que les proporcionan autonomía dependiendo de las capacidades y especificaciones del

modelo. El Koala es un RMR, de tamaño realista (32 cm x 30 cm x 20 cm): multiprocesador, la sencillez de uso, robustez y buen precio se escalan hasta un robot grande (figura 1). Es una plataforma con funcionalidades añadidas, más potencia computacional, una mejor comunicación entre procesador y capacidad de ampliación [5].



Figura 1 Robot Koala.

Acosta Amaya [7] aborda el diseño de un sistema multi-agente robótico, para navegar de manera autónoma por entornos interiores de trabajo con el propósito de construir modelos computacionales de dichos espacios. Se basa en el seguimiento de contornos por la derecha del robot y en la evitación de obstáculos localizados enfrente del mismo. Este agente, cuenta con sistemas de percepción propia y exteroceptivos. Construyó representaciones de entornos de prueba: tramos de pasillos con columnas y muros. Empleo la técnica de mapeo por celdas de ocupación la cual –comenta- resulta ser más demandante en recursos computacionales que las representaciones topológicas.

Carretero Jiménez [6] en su trabajo plantea el problema de la localización de un Vehículo Autónomo Guiado (AGV) a través de un ambiente desconocido. Comenta que una solución al problema SLAM, hará posible convertir a un AGV en un sistema totalmente “autónomo”. Estudia el problema SLAM desde un punto de vista teórico, implementa una herramienta de técnicas SLAM, a partir de la cual, y de la introducción de los datos exactos del robot y sensores, permitirá la simulación y graficación del mapa de ambiente y su localización exacta dentro de dicho mapa. Finalmente, el sistema propuesto se probó mediante cuatro experimentos de simulación de desplazamiento de un robot en un ambiente totalmente desconocido.

Yamauchi [8] describe, en publicación realizada, la exploración basada en fronteras y el trabajo de localización continua, y cómo integrar estas capacidades. Las fronteras son regiones en la frontera entre espacio y espacio inexplorado. Cuando el robot navega hacia esa frontera, incorporará más del espacio cubierto por el camino hacia el territorio mapeado. Si el robot no incorpora el camino entero, entonces una nueva frontera existe a lo largo de la trayectoria. Un robot que utiliza la exploración examinará finalmente todos los espacios en el mundo. Manipula una cuadrícula de evidencia como representación espacial, ocupa sensores de alcance sonar en combinación con un telémetro láser en la construcción de una red de pruebas para el robot.

ARIEL (Robot Autónomo para Exploración Integrada y localización). Ha sido implementado en un robot real y probado en un entorno de oficina del mundo real. Es un robot móvil Nomad 200 equipado con un telémetro láser planar, dieciséis sensores sonares y dieciséis sensores infrarrojos. Basado en la frontera de la exploración y localización continua, se ejecutan en una Sparcstation 20s. Se ha realizado una considerable investigación en la construcción de mapas robóticos, pero la mayor parte de esta investigación se ha llevado a cabo en *simulación*. Algunos sistemas de exploración autónoma han sido implementados en robots reales. Mataric desarrolló Toto, un robot que combina la exploración reactiva, utilizando el seguimiento de la pared y evitación de obstáculos, con un simple planificador de trayectoria topológica. Thrun y Bücken han desarrollado un sistema de exploración que construye una representación espacial que combina una cuadrícula de evidencias con un mapa topológico. Duckett y Nehmzow han desarrollado un robot móvil que combina exploración y localización. Este sistema utiliza el seguimiento de la pared para la exploración. Para localización, una red neuronal auto organizada con ART.

El proyecto propuesto en el presente documento, considera al robot Koala RMR (robot móvil de ruedas) que se probará en entornos de trabajo cerrados (aula, oficina, habitación), desconocidos, es decir, se omite cómo estarán dispuestos los obstáculos, el espacio de configuraciones será estático, aunque puede cambiar entre ejecuciones. Siendo su principal herramienta de navegación los sensores

infrarrojos, quienes serán los que suministren la información a la aplicación que se desarrollará y tendrá como función primordial dar autonomía al RMR y construir, con los datos generados, el plano del entorno de trabajo del Koala.

Se desempeñará en entornos reales no simulados, en el que se basa prioritariamente, el trabajo de Carretero [6] y varios otros que incursionan en el tema como cita Yamauchi [8]: *“Se ha realizado una considerable investigación en la construcción de mapas robóticos, pero la mayor parte de esta investigación se ha llevado a cabo en simulación”*; se harán más consideraciones físicas que beneficiarán directamente los movimientos precisos del robot. Además, este proyecto se diferencia respecto de Yamauchi [8] en los dispositivos ocupados, por un lado el robot Koala es menos robusto y demanda recursos mínimos que el Nomad 200 y los dispositivos adicionales que ocupa para realizar su tarea. El caso de Acosta [7] comenta: *“Si bien resulta ser más demandante en recursos computacionales que las representaciones topológicas, reproducen de manera explícita la estructura del entorno”*, para el Koala no resulta demandante el rubro de recursos computacionales ya que el algoritmo utilizado no le exige en sus recursos.

2. Métodos

Cinemática del robot móvil

La conducción diferencial es la elección cinemática más común. Consta de dos ruedas en el eje perpendicular a la dirección del robot. Cada rueda es controlada por un motor, de tal forma que el giro del robot queda determinado por la diferencia de velocidad de las ruedas. Así, para girar a la derecha, hay que darle una velocidad mayor a la rueda izquierda. Sin embargo, la cinemática se plantea un par de preguntas básicas, teniendo en cuenta las velocidades o posiciones de la rueda: ¿cuál es la velocidad/posición del robot?, ¿Existen limitantes inherentes del sistema? [2].

Para obtener las ecuaciones cinemáticas es necesario establecer gráficamente todos los factores involucrados, el modelo cinemático se ilustra en la figura 2, donde se denomina p al punto de contacto existente entre la rueda con la

superficie, v la velocidad de traslación del centro del robot, ω la velocidad angular del robot con respecto a su centro, cr el centro instantáneo de rotación, r es el radio de las ruedas, L es el ancho del robot, V_R es la velocidad del motor derecho, V_L es la velocidad del motor izquierdo, V_C es la velocidad promedio de los dos motores, θ_C es el ángulo del robot respecto a las coordenadas absolutas x-y, s el vector $[v, w]$ de la velocidad del robot, P_s el vector $[x_c, y_c, \theta_c]$ que representa la posición y orientación del robot, y (x_c, y_c) son las coordenadas del centro de masa del robot.

Iniciamos con la ecuación general para la velocidad de una rueda, ecuación 1.

$$\text{velocidad} = r * \omega \quad (1)$$

A partir de la ecuación 1 se calculan V_L y V_R , ecuaciones 2.

$$V_L = r\omega_L \quad V_R = r\omega_R \quad (2)$$

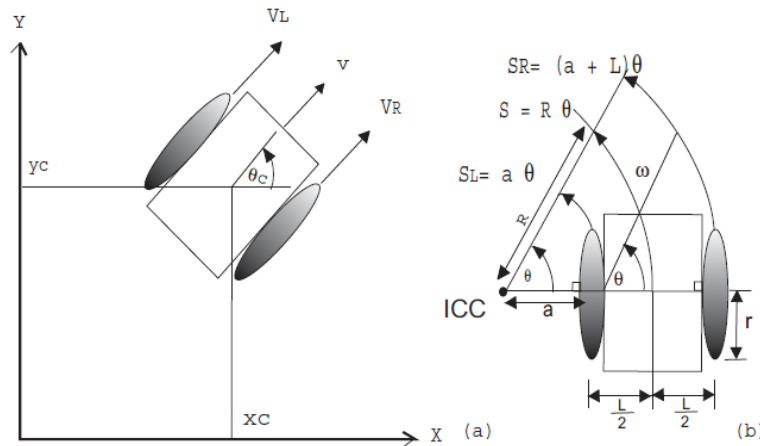


Figura 2 Modelo cinemático del robot.

De la figura 2, obtenemos S_L que es la distancia recorrida por la rueda izquierda, S_R que es la distancia recorrida por la rueda derecha y S que es la distancia recorrida por el punto central del robot, ecuaciones 3 a 5, respectivamente.

$$S_L = a\theta \quad (3)$$

$$S_R = (a + L)\theta \quad (4)$$

$$S = \theta R \quad (5)$$

De la ecuación 5, R es el radio de curvatura instantáneo de la trayectoria del robot. Al reemplazar ecuación 3 en la ecuación 4, tenemos ecuación 6.

$$S_R = S_L + L\theta \quad (6)$$

Para obtener ω se deriva la ecuación 6 dando como resultado la ecuación 7.

$$V_R = V_L + L\omega \quad (7)$$

Al despejar ω de la ecuación (7) se obtiene, ecuación 8.

$$\omega = \frac{V_R - V_L}{L} \quad (8)$$

Al sumar las ecuaciones 3 y 4 resulta ecuación 9.

$$S_R + S_L = 2\alpha\theta + L\theta = 2\theta\left(\alpha + \frac{L}{2}\right) \quad (9)$$

Donde:

$$R = \alpha + \frac{L}{2} \quad (10)$$

Entonces, reemplazando la ecuación 5 en la ecuación 9, se obtiene ecuación 11.

$$S = \frac{S_R + S_L}{2} \quad (11)$$

Al derivar la ecuación 11 se obtiene la velocidad resultante, esta velocidad queda expresada como se indica en la ecuación 12.

$$v = \frac{V_R + V_L}{2} \quad (12)$$

Para calcular R , se deriva la ecuación 5 y se tiene ecuación 13.

$$v = \omega R \quad (13)$$

Entonces, al reemplazar las ecuaciones 12 y 8 en la ecuación 13, se obtiene ecuación 14.

$$R = \frac{L}{2} \left(\frac{V_R + V_L}{V_R - V_L} \right) \quad (14)$$

Al analizar la ecuación 14, $R = \infty$ cuando $V_R = V_L$, quiere decir que el ICC se encuentra en el infinito o que el robot se moverá en línea recta. Si $V_R = -V_L$ $R = 0$, indica que el ICC se encuentra en el centro del robot y por lo tanto girará alrededor de su centro.

Ahora a partir de las ecuaciones 12 y 8 se obtiene s como ecuación 15.

$$s = \begin{bmatrix} v \\ \omega \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{V_R + V_L}{2} \\ \frac{V_R - V_L}{L} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \\ -\frac{1}{L} & \frac{1}{L} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_L \\ V_R \end{bmatrix} \quad (15)$$

A continuación, se obtiene p_s^* ecuación 16 a partir del producto de la matriz jacobiana $J(\theta)$ con s .

$$p_s^* = \begin{bmatrix} \dot{x}_c \\ \dot{y}_c \\ \dot{\theta}_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\theta_c) & 0 \\ \text{sen}(\theta_c) & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ \omega \end{bmatrix} = J(\theta_c)s \quad (16)$$

Para obtener la posición del robot integramos la ecuación 16, como se indica en las ecuaciones 17 a 19.

$$x_c = \int_0^t v(T) \cos(\theta_c) dT \quad (17)$$

$$y_c = \int_0^t v(T) \text{sen}(\theta_c) dT \quad (18)$$

$$\theta_c = \int_0^t \omega(T) dT \quad (19)$$

El punto ICC está localizado como se indica en ecuación 20.

$$\text{ICC} = (x_c - R\text{sen}(\theta), y_c + R\cos(\theta)) \quad (20)$$

Construcción del plano

- **Módulo de comunicaciones.** Para reconocer e identificar los diferentes canales de comunicación del robot, se probaron cada una de las configuraciones de enlace para finalmente elegir la más adecuada. Por medio de la cual, quedó establecida la comunicación vía puerto serie entre el robot móvil y la computadora, en donde se ejecuta el software diseñado y

desarrollado para servir de herramienta al Koala. En tabla 1 se muestra el pseudocódigo que permitió establecer el enlace.

Tabla 1 Pseudocódigo para el Módulo de comunicaciones del robot Koala.

<i>Inicio</i> <i>Definir valores para puerto serie (velocidad, bits datos, nombre puerto, paridad, bit de paro)</i> <i>Abrir el archivo asociado al puerto (modo lectura/escritura)</i> <i>Leer estructura de control asociada al puerto (idpuerto)</i> <i>Modificar estructura de control del puerto según valores definidos (idpuerto)</i> <i>Asignar Intervalos de tiempo al puerto (lectura/escritura)</i> <i>Fin</i>

- **Módulo de Conversión e interpretación de la información del exterior.**

Establecido el medio de comunicación, por él fluyen datos que son obtenidos a través de los sensores del robot móvil. Estos datos proporcionan información útil del entorno, tal como luminosidad del espacio, proximidad con los objetos. Son valores numéricos entre 0 y 1023, por ejemplo, para el aspecto de proximidad el valor 0 indica que un objeto está “muy cerca” del robot y 1023 indica que está “muy lejos”. Los sensores están colocados en la periferia del Koala son 16 sensores de cada tipo, los que se pueden leer dando el comando propio del Koala para esa operación. Los datos provistos por el robot móvil durante su recorrido, son tratados y almacenados por el programa. Los datos son convertidos a información del medio real, mediante fórmulas que implícitamente consideran: cambio o diferencial en las coordenadas (ubicación), diferencial del ángulo (orientación del robot), diferencial del tiempo (tiempo transcurrido), cambio en la distancia (desplazamiento). Convertida la información a medidas significativas, se pasa por funciones del programa para ser interpretada según los diferenciales obtenidos, tales como posición y orientación: fundamentales para tener referencia del Koala dentro de su entorno. La secuencia de operaciones correspondiente a este módulo, aparece tabla 2.

Tabla 2 Pseudocódigo Conversión e interpretación de información del exterior.

```
Inicio
  salir=falso
  veces=0
  cad = ""
  Abrir archivos para almacenar información
  Inicializar_tiempo ( )
  Inicializar_rejilla()
  Mientras NO salir Y veces < 1000
    veces=veces+1
    Si no ( cad == "salir" )
      Entonces: salir = verdadero
      Sino:
        cad = cad + "Nr\n"
        escribirserie ( cad ) // enviar cadena por el puerto serie
        leerserie ( idpuerto )
    fin_si
  fin_mientras
  fin_comunicacion ( idpuerto ) // Liberar puerto serie
  cerrar archivos
Fin
```

- **Módulo de Control de movimiento del robot.** El resultado del módulo anterior permite al presente módulo generar la siguiente instrucción que recibirá el robot móvil, la cual determinará el próximo movimiento.

En base a las lecturas obtenidas del exterior por los sensores, se convirtió a información concreta y útil: Posición y Orientación.

El módulo de Control de Movimiento ocupa estos dos aspectos para determinar si en el entorno hay algún objeto próximo al robot, que tan cerca, cuál es su orientación, etc. Si se encuentra cerca, la orden para el Koala será disminuir la velocidad, si el objeto está por enfrente, por un lado o por el otro, la orden será ir hacia el sentido opuesto al objeto, siempre y cuando el sentido no esté bloqueado. El software de control estructura la instrucción adecuada que se enviará por el puerto y se ejecute en el Koala. La tabla 3 muestra el pseudocódigo correspondiente.

Tabla 3 Pseudocódigo para el Módulo de control de movimiento del robot Koala.

```
Inicio
Leer buffer desde puerto serie
Con la lectura de proximidades del Koala:
  Obtener la proximidad mayor
  Calcular Dirección, donde se estima, existe un obstáculo (mediante Formula
  Lebeltel)
  Si está próximo a algún obstáculo
  Entonces: Modificar velocidad del Koala según la Dirección/Orientación del obstáculo
  Sino: // Verificar que mantiene su distancia respecto del muro por la Derecha
  Si Separación del Koala con muro Derecho está dentro de los límites establecidos
  Entonces:
    Asignar velocidad igual a motores del Koala manteniendo Dirección/Orientación
  Sino:
    Si es muy cerca del muro Derecho
    Entonces: Modificar velocidad en motores para separarlo del muro
    Sino:
      Si se está alejando del muro Derecho
      Entonces: Modificar velocidad en motores para acercarlo al muro
      Sino: Calcular...
        Velocidad de Traslación según proximidad de obstáculo
        Velocidad Angular ocupando Dirección/Orientación del obstáculo
        Velocidades de motores Derecho e Izquierdo en términos de la Velocidad de
        Traslación y Angular.
    Fin_Si
  Fin_Si
Fin_Si
Fin_Si
Fin_Si
Validar velocidades de motores, no rebasen el máximo permitido
 $Vel\_Traslacion = (Vel\_DER + Vel\_IZQ) / 2$ 
 $Vel\_Angular = (Vel\_DER - Vel\_IZQ) / LONG\_EJES$ 
Almacenar lecturas de proximidades en archivo
Generar con las velocidades Derecha e Izquierda el comando para robot Koala
Enviar comando, a través de Puerto Serie, para ser ejecutado por Koala.
Calculo de diferenciales por cada concepto (Tiempo, Ángulos, DistanciaX, DistanciaY)
Fin
```

- **Módulo de Construcción del plano del entorno de trabajo del robot Koala.** La información del módulo anterior (posiciones del robot durante su trayecto), es almacenada en un dispositivo de almacenamiento secundario. Al finalizar su recorrido el Koala, todos estos puntos de posiciones visitadas se procesan con el pseudocódigo de tabla 4, obteniendo de la conjunción de cada uno de ellos el Mapa del entorno cerrado: producto final de este módulo y objeto del presente proyecto.

Tabla 4 Pseudocódigo para la construcción del plano del entorno de trabajo robot Koala

```
Inicio
  x0=0, y0=0, x1=0, y1=0
  abrirarchivo(Datos1.Dat)
  Mientras NO SEA FIN ARCHIVO (Datos1.Dat) hacer:
    leerarchivo(Datos1.Dat, Registro)
    Si no es ( El primer registro )
      Entonces:
        asignarvalorX1Y1 ( Registro )
        trazarlínea ( x0, y0, x1, y1 )
        actualizarX0Y0 ( x0, y0, x1, y1 )
      Fin_si
    Fin_mientras
  Cerrar archivo ( Datos1.Dat )
Fin
```

En la figura 3 se visualiza el gráfico del Plano del Entorno obtenido, producto de la ejecución del software de control diseñado para el robot Koala.

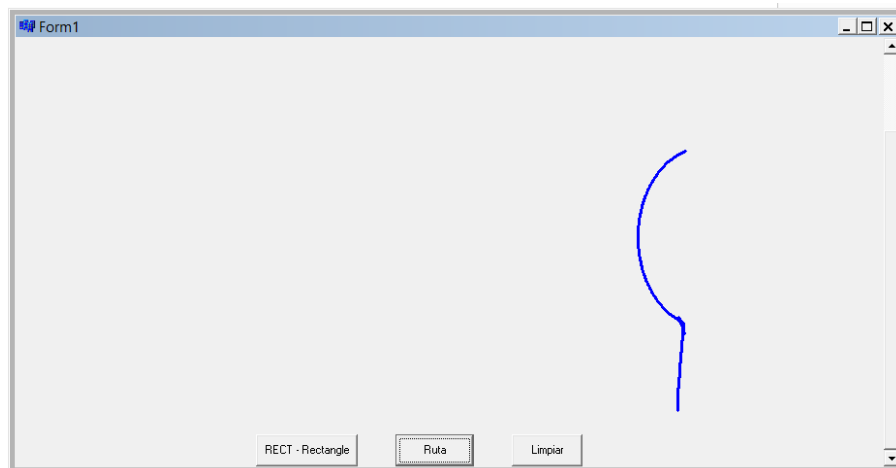


Figura 3 Plano del entorno de trabajo robot Koala.

Consideraciones del entorno

Se realizó la prueba en el pasillo de los cubículos para docentes en la planta baja del Centro de Información del ITP. Se colocó el robot en el extremo opuesto del acceso principal a los cubículos. En el pasillo se colocaron dos objetos: una maleta de medidas 60 cm. x 40 cm. x 30 cm., junto a la pared del lado derecho y

una caja de cartón a un par de metros antes del final del pasillo por la cera del lado izquierdo.

Descripción del plano del entorno construido

Se ejecutó el programa de control en el robot móvil; éste inició su desplazamiento buscando siempre avanzar y colocarse cerca del muro de la derecha, lo cual se aprecia en el segmento inicial de la gráfica. Al acercarse a la maleta, la detecta como un obstáculo y las lecturas suministradas al programa son interpretadas correctamente, las nuevas instrucciones son enviadas al puerto de comunicación para que el robot baje su velocidad y cambie de dirección hacia su izquierda, lo que se aprecia como un “medio círculo” en la gráfica de la figura 3. Este cambio de dirección permitió al Koala “evitar el obstáculo”. Continuó su trayecto hacia al muro de la izquierda, entonces recibió instrucciones para separarse y continuar avanzando, lo cual realizó hasta que llegó al otro extremo del pasillo.

3. Resultados

Cabe mencionar que el estudio realizado en la construcción del mapa de entornos cerrados utilizando un robot móvil de ruedas, apuntó a escenarios fijos con poca variabilidad (figura 3). Aun así, se realizaron pruebas con cambios en el entorno. La figura 4 ilustra al robot Koala realizando uno de sus primeros recorridos en un aula del ITP, en esta fase presenta movilidad pero aun con detalles por atender.



Figura 4 Koala fase de pruebas iniciales.

La tabla 5 muestra las primeras cincuenta posiciones y las últimas veinte que forman parte del recorrido del robot en la figura 3.

Tabla 5 Conjunto de coordenadas (posiciones) que forman parte de un recorrido.

No.	x, y	No.	x, y	No.	x, y	No.	x, y	No.	x, y	No.	x, y	No.	x, y
1	0,0	11	20,0	21	42,-2	31	66,-4	41	89,-6	191	234,27	201	246,19
2	2,0	12	21,0	22	45,-2	32	68,-4	42	89,-6	192	235,26	202	247,18
3	5,0	13	24,-1	23	47,-2	33	71,-4	43	88,-6	193	236,26	203	248,17
4	7,0	14	26,-1	24	50,-3	34	73,-5	44	87,-6	194	238,25	204	249,16
5	9,0	15	28,-1	25	52,-3	35	75,-5	45	86,-6	195	239,24	205	250,15
6	12,0	16	31,-1	26	54,-3	36	78,-5	46	85,-6	196	240,23	206	251,14
7	13,0	17	33,-1	27	57,-3	37	80,-5	47	84,-6	197	241,22	207	252,14
8	15,0	18	35,-2	28	59,-3	38	82,-5	48	84,-6	198	242,22	208	253,13
9	17,0	19	38,-2	29	61,-4	39	85,-5	49	83,-6	199	244,21	209	254,12
10	18,0	20	40,-2	30	64,-4	40	87,-6	50	82,-6	200	245,20	210	255,11

De la luminosidad

Mientras la luminosidad se mantuvo homogénea en el entorno de pruebas del robot móvil, éste obtuvo buen desempeño. Cuando en las pruebas se alteró la luminosidad en el entorno se modificó también el comportamiento del robot, debido a la afectación en la sensibilidad de los sensores, provocando retraso en su recorrido e incluso detenerse cuando intencionalmente se suspendió la iluminación del entorno.

De la superficie

En este aspecto, se realizaron pruebas con variaciones mínimas en la superficie (inclinación, rugosas, impurezas) en las cuales, el robot se mantuvo en marcha. Pese a esto, la mayor parte de las pruebas se enfocaron al interior de los cubículos de la biblioteca del ITP.

Del software

El programa implementado considera un tiempo de lectura en los sensores de aproximadamente 0.5 segundos. Tiempo estimado en base a “ensayo y error”; se observó que si se asigna un tiempo menor a 0.5 segundos o mayor para la lectura

de los sensores, se generan instrucciones radicales por el firmware con la única intención de salvar la situación actual del robot en su entorno, lo que se refleja en movimientos “rápidos” o “lentos”; lo cual se resolvió en el código implementado, asignando un intervalo específico y constante en la velocidad del robot (de -52 a 52 pulsos).

4. Discusión

Una vez concluido el desarrollo del software de control para el trabajo denominado “Construcción del plano de entornos de trabajo cerrados, utilizando el robot Koala”, usando los lenguajes C/C++ de Borland e interactuando con el robot Koala dando independencia a su desplazamiento y evitación de obstáculos, el código del mapa fue ejecutado exitosamente en el área de cubículos de la biblioteca del ITP.

Este mismo estudio puede ser mejorado y/o aumentado en otros proyectos en sus distintos niveles académicos. Incorporando fundamentos básicos que contribuyan a su crecimiento, por ejemplo:

- Incorporando algoritmos que le permitan al robot móvil regresar al punto de partida, después de realizado el plano del entorno.
- Incorporar algoritmos que comprueben si el plano del entorno construido por el robot móvil puede servirle para regresar al punto de partida.
- Agregar cámara al robot móvil, la cual envíe durante el recorrido por el entorno imágenes a la computadora que se visualicen en pantalla. Además, envíe de imágenes de los obstáculos identificados durante el recorrido por el entorno para un posterior procesamiento.
- Con el apoyo de la cámara y de una imagen digitalizada de un objeto especificado previamente, el robot se desplazaría por el entorno intentando localizarlo.

5. Bibliografía y Referencias

- [1] Barrientos, A., Peñín L.F., Balaguer C., Aracil R. (2007). Fundamentos de Robótica. México, D.F., México: McGraw-Hill Interamericana.

- [2] Siegwart, R., Nourbakhsh, I. (2004). *Introduction to Autonomous Mobile Robots*. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press.
- [3] López García, D.A. (2011). *Nuevas aportaciones en algoritmos de planificación para la ejecución de maniobras en robots autónomos no holónomos*. Tesis de maestría no publicada. Universidad de Huelva, Huelva, España.
- [4] Benavides F., (2012). *Planificación de movimientos aplicada en robótica autónoma móvil*. Tesis de maestría ISSN 0797-6410. Universidad de la República, Montevideo. Uruguay.
- [5] K-Team S.A., (2001) *Koala, manual del usuario Versión 2.0 (silver edition)*. Préverenges, Suiza.
- [6] Carretero Jiménez, S., (2006). *Localización y Construcción de Mapas para la Navegación de Robots Móviles*. Universidad de Castilla La Mancha, Toledo, España.
- [7] Acosta Amaya, G.A., (2010). *Ambiente multi-agente robótico para la navegación colaborativa en escenarios estructurados*. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia.
- [8] Yamauchi, B., Schultz, A. and Adams, W., (2014). *Mobile Robot Exploration and Map-Building with Continuous Localization*. Navy Center for Applied Research in Artificial Intelligence, Naval Research Laboratory. Washington, D.C., USA.