



## Robots Tipo Colmena para el Desarrollo de Actividades en el Área de Construcción Basado en Visión de Máquina

Beehive Robots for the Development of Activities in the Area of Construction  
Based on Machine Vision

Recibido: 20/05/2020 Aprobado: 20/09/2021

**Adriana Rivero** [Orcid.org/0000-0002-8209-7672](https://orcid.org/0000-0002-8209-7672)  
Universidad Privada Dr. Rafael Belloso Chacín  
Ingeniera de control y automatización de procesos  
[adriverochoa@gmail.com](mailto:adriverochoa@gmail.com)

### Resumen

El objetivo general de la investigación fue diseñar robots tipo colmena para el desarrollo de actividades en el área de construcción basado en visión de máquina. Se fundamentó bajo las teorías de autores tales como Groussard (2006), Senn (2004), Macchiavello (2008), entre otros. La metodología fue de tipo descriptiva, proyectiva, con un diseño de campo experimental. La técnica de recolección de datos fue la observación directa, a través de visitas a varias empresas de construcción. La investigación abarcó cinco fases para lograr el objetivo planteado: análisis de la situación actual de las empresas en relación con la necesidad de implementar robots tipo colmena para la identificación de materiales de construcción basados en visión de máquina; determinar los requerimientos a utilizar para la realización de los autómatas; diseñar los robots esquemáticamente para luego llevar a cabo la construcción de los mismos y finalmente evaluar el funcionamiento de los robots tipo colmena para la identificación de materiales que pudiesen desarrollar actividades en el área de construcción basado en visión de máquina, mediante el cual las empresas encargadas de esta área pudieran contar con dichos autómatas y así desarrollar de manera segura, rápida y eficaz sus actividades de construcción. Como resultado se obtuvieron prototipos de robots tipo colmena, los cuales identificaron materiales de construcción trabajando en conjunto. El logro de este comportamiento colmena estuvo basado en la programación en lenguajes como java y arduino.

**Palabras claves:** Robótica, Robot, Autómata, Visión de máquina, Construcción.

### Abstract

The general objective of the research was to design beehive-type robots for the development of activities in the construction area based on machine vision. It was based on the theories of authors such as Groussard (2006), Senn (2004), Macchiavello (2008), among others. The methodology was descriptive, projective, with an experimental field design. The data collection technique was direct observation, through visits to various construction companies. The research covered five phases to achieve the proposed objective: analysis of the current situation of companies in relation to the need to implement beehive-type robots for the identification of construction materials based on machine vision; determine the requirements to

be used for the realization of the automata; design the robots schematically and then carry out their construction and finally evaluate the operation of the beehive-type robots for the identification of materials that could develop activities in the construction area based on machine vision, through which the companies in charge of this area could count on said automatons and thus carry out their construction activities safely, quickly and efficiently. As a result, prototypes of beehive robots were obtained, which identified construction materials working together. The achievement of this hive behavior was based on programming in languages such as Java and Arduino.

**Keywords:** Robotic, Robot, Machine Vision, Automata, Construction

### Introducción

Según Macchiavello (2008), un robot es una entidad virtual o mecánica artificial. En la práctica, esto es por lo general un sistema electromecánico que, por su apariencia o sus movimientos, ofrece la sensación de tener un propósito propio. La independencia creada en sus movimientos hace que sus acciones sean la razón de un estudio profundo en el área de la ciencia y tecnología. La palabra robot puede referirse tanto a mecanismos físicos como a sistemas virtuales de software, aunque suele aludirse a los segundos con el término de bots.

No hay un consenso sobre cuales máquinas pueden considerarse robots, pero sí existe un acuerdo general entre los expertos sobre las actividades que ejecutan, los movimientos para hacer funcionar un brazo mecánico, manipular su entorno y mostrar un comportamiento inteligente, especialmente si ese comportamiento imita al hombre o a los animales. Actualmente podría considerarse que un robot es una computadora con la capacidad y el propósito de movimiento para desarrollar múltiples tareas de manera flexible según su programación, diferenciándose de los electrodomésticos desarrollados por el hombre para llevar a cabo tareas diarias (Senn, 2004).

Según Groussard (2006), el primer robot programable y dirigido de forma digital fue el Unimate, instalado en 1961 para levantar piezas calientes de metal de una máquina de impresión por tinta. Por lo general, la gente reacciona de forma positiva ante los robots con los que interactúa. No obstante, existe una cierta ansiedad sobre el impacto económico de la automatización y la amenaza del armamento robótico.

A lo largo de los años mundialmente el comportamiento de colmena ha intrigado a los expertos, y la robótica se ha convertido en una herramienta muy importante para explorarlo. La idea de una legión de pequeños robots trabajando con un objetivo común ha cautivado desde muchos aspectos. Se trata de robots con una coordinación casi sobrenatural, perseverancia y constancia dignas de ser imitadas, llamándosele comportamiento colmena o consciencia colectiva, un término más técnico. Se ha tenido muy en cuenta en el desarrollo de la inteligencia artificial y se han buscado diferentes formas de implementarla sobre robots.

Los sensores proporcionan al robot información sobre su entorno que le sirven para guiar sus acciones. La visión, hoy día con resolución relativamente alta, le da información sobre las distancias relativamente grandes. Se han desarrollado muchos tipos de sistemas de visión para robots, los cuales entran en uso práctico cada vez con más frecuencia. Por tanto, el objetivo general de una máquina vidente es derivar una descripción de una escena, analizando una o más imágenes de dicha escena, en algunas situaciones es básicamente bidimensional. Es el caso, si el robot trabaja con piezas planas sobre una superficie plana, o si busca perforaciones en tal superficie.

La visión para situaciones bidimensionales es más fácil programar a las tridimensionales, como era natural los primeros trabajos sobre máquinas videntes se hicieron en esa modalidad. Para que un robot reconozca partes, piezas, perforaciones, entre otras, u objetos en una superficie, primero debe distinguir los objetos de interés del resto de la superficie. Es decir, debe ser capaz de destacar partes de la imagen correspondientes a esos objetos. Este proceso de extraer subconjuntos de una imagen o partes relevantes de la escena se denomina segmentación.

La visión robótica a color ha sido poco estudiada en general, aunque tiene un papel muy importante en aplicaciones específicas. El color en un punto de una imagen puede representarse por tres números que representen, por ejemplo, los niveles de las componentes roja, verde y azul. Entonces una imagen digital a color es una matriz de tripletas de valores. Si esos niveles de los píxeles se grafican como puntos de un espacio cromático, el objeto y el fondo originan cúmulos de puntos. Tales cúmulos son análogos a los picos del histograma y la imagen se puede segmentar en regiones de diferente color parcelando el espacio cromático de tal manera que se separen los cúmulos. Este ha sido el método clásico utilizado para segmentar las imágenes obtenidas por los sensores remotos múlti-espectrales.

Bajo el mismo orden de ideas, actualmente las empresas encargadas del área de construcción, objeto de la investigación, no cuentan con robots tipo colmena para el desarrollo de actividades basados en visión máquina, conllevándoles a contratar mayor cantidad de personal para la ejecución de las obras que le han sido contratadas, generándoles incremento de horas hombre y sobre costos respecto a lo contratado. Igualmente afecta la contratación de personal discapacitado, afectando el cumplimiento de regulaciones contractuales e incrementando los riesgos presentes en las obras, tanto para los trabajadores como los equipos asignados a la obra.

Basado en lo anteriormente planteado, se observó la necesidad de implementar tecnologías de punta, mediante la utilización de robots tipo colmena basada en visión de máquina en el desarrollo de actividades en el área de la construcción por parte de las empresas constructoras, que les permitan detectar oportunamente cualquier tipo de material no deseado al utilizar equipos con alta resolución en cuanto al color, profundidad y tamaño. Además, genera confianza y seguridad en los trabajadores y por ende, eleve el nivel de los rendimientos alcanzados en la ejecución de las actividades de las obras contratadas.

### **Objetivo general**

Implementar el uso de robots tipo colmena basado en visión de máquina en el desarrollo de actividades en el área de construcción.

### **Objetivo específicos**

Determinar los requerimientos necesarios para la fabricación de robots tipo colmena para el desarrollo de actividades en el área de construcción basado en visión de máquina

Diseñar el modelo de Robots tipo colmena para el desarrollo de actividades en el área de construcción basado en visión de máquina

Construir prototipos de robots tipo colmena para el desarrollo de actividades en el área de construcción basado en visión de máquina.

## Metodología

La presente investigación catalogó como proyecto factible, en concordancia con lo estipulado por la Universidad Pedagógica Experimental (UPEL, 2009), consiste en un conjunto de actividades vinculadas entre sí, cuya ejecución permitirá la elaboración y desarrollo de una propuesta de un modelo operativo viable para solucionar problemas, requerimientos o necesidades de organizaciones o grupos sociales; puede referirse a la formulación de políticas, programas, tecnologías, métodos o procesos, con el apoyo en la revisión documental y la aplicación de instrumentos de recolección de datos en campo o un diseño que incluya ambas modalidades.

Es decir, la finalidad del proyecto factible radica en el diseño de una propuesta de acción dirigida a resolver un problema o necesidad previamente detectada en el medio. Según Hurtado (2012), es la elaboración de una propuesta, de un modelo operativo viable, o una solución posible y sus propósitos es satisfacer una necesidad y solucionar un problema.

También tipificó como proyectiva, de acuerdo con Rodríguez y Pineda (2006) son todas aquellas investigaciones que conducen a inventos, programas, diseño o a creaciones dirigidas a cubrir una determinada necesidad, basadas en conocimientos anteriores. Desde la perspectiva de Cerda (2006), este tipo de investigación conlleva a la elaboración de una propuesta, un plan, un programa o un modelo, como solución a un problema o necesidad de tipo práctico, ya sea de un grupo social, o de una institución, o de una región geográfica, en un área particular del conocimiento, a partir de un diagnóstico preciso de las necesidades del momento, los procesos explicativos o generadores involucrados y de las tendencias futuras, es decir, con base en los resultados de un proceso investigativo.

Desde el punto de vista del diseño de la investigación fue experimental debido a la manipulación intencionada de los datos para llevar a cabo el proyecto planteado, la implementación del uso de robots tipo colmena en el desarrollo de actividades en el área de la construcción. Al respecto Hernández, Fernández y Baptista (2014), este tipo de estudio se ocupa de la orientación dirigida a los cambios y desarrollos, tanto de la esfera de las ciencias naturales como de las sociales, se presenta mediante la manipulación de una variable no comprobada, en condiciones rigurosamente controladas, con el fin de escribir de qué modo y por qué causa se produce una situación o acontecimiento particular.

La unidad de estudio o unidad de análisis estuvo conformada por el desarrollo y funcionamiento operativo de los robots tipo colmena para la identificación de materiales de construcción basados en visión de máquina, asimismo está ligada a la comprobación de la hipótesis en la investigación. En tal sentido Hurtado (2012) indica, las unidades de estudio se deben definir de tal modo que a través de ellas se pueda dar una respuesta completa y no parcial a la interrogante de la investigación. Por su parte, Arias (2006), afirma que la unidad de análisis corresponde a la entidad mayor o representativa del objeto de estudio en una medición y se refiere al qué o quién es objeto de interés en una investigación.

Se utilizó como técnica para la recolección de los datos la encuesta mediante la aplicación de entrevistas a los miembros de las contratistas objeto de la investigación, a fin determinar la situación real en el desarrollo de actividades de construcción. Para Arias (2006) las técnicas e instrumentos de recolección de datos, pueden definirse como al medio a través del cual el investigador se relaciona con los sujetos para obtener la información necesaria que le permita lograr los objetivos de la investigación. Igualmente se realizó un análisis detallado de las fuentes documentales, la observación directa y revisión bibliográfica

Desde la perspectiva de Hurtado (2012), la revisión bibliográfica comprende todas las actividades relacionadas con la búsqueda de información escrita sobre un tema acotado

previamente, sobre el cual se reúne y discute críticamente, toda la información recolectada y utilizada. Por tal razón se consultaron varios autores relacionados al tema de osciloscopio con arduino con el objetivo de seleccionar entre estos, los mejores métodos o técnicas para aplicar las mismas en el desarrollo de la investigación.

## Resultados

### Requerimientos para la fabricación de robots tipo colmena.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos durante el desarrollo de la investigación. Primeramente, se dio cumplimiento al primer objetivo que buscaba determinar los requerimientos necesarios para la fabricación de robots tipo colmena para el desarrollo de actividades en el área de construcción basado en visión de máquina. Para ello se procedió primeramente a seleccionar el microcontrolador, sus componentes y equipos necesarios para la construcción de los robots, así como el software a utilizar para desarrollar la lógica de los mismos (Sommerville, 2006).

Cuadro 1  
*Características: Arduino Atmega 328 y Microchip Picaxe*

	Arduino	Picaxe
Tipo de MCU	Atmega 8 bits	Microchip 8 bits
Modelos utilizados	Atemega 328, Atmega 168, Atmega 2560	Pic 18f14k22, Pic 16f88, Pic 16f873, entre otros
Lenguaje de programación	C	Basic, diagramas de flujo
Arquitectura	Advanced RISC	RISC
Hardware de Programación	Puerto USB	Puerto Serie
Firmware	Bootloader	Bootstrap

Fuente: Elaboración Propia (2017)

Los dos microcontroladores seleccionados para llevar a cabo la construcción de los autómatas fueron Arduino y Microchip Picaxe (ver Cuadro 1), comparando los siguientes criterios: modelos, lenguaje de programación, arquitectura, hardware y firmware, según las definiciones de cada uno; Arduino una plataforma de hardware libre, basada en una placa con un microcontrolador y un entorno de desarrollo (software), diseñada para facilitar el uso de la electrónica en proyectos multidisciplinarios y facilitar la programación de un microcontrolador (Arduino, 2017) y Picaxe es un microcontrolador basado en PIC, con firmware preprogramado que habilita el arranque de código directamente del computador, simplificando el desarrollo de sistemas por el desarrollador de programas (Picaxe, 2017).

Después de comparar las características entre los dos microcontroladores Arduino Atmega 328 y el Microchip Picaxe, se seleccionó Arduino Atmega 328 por ser de

tecnología más avanzada, eficaz para el proceso de la programación de las instrucciones a incorporar en el diseño de los robots.

Luego se realizó la selección de la cámara a instalar en la construcción de los robots tipo colmena basados en visión de máquina, tomándose como parámetros de selección del modelo: cantidad de píxeles, calidad de la imagen, capacidad de captura y dimensiones, para lo cual se compararon los modelos de cámaras Lifecam HD-3000 y Logitech HD C270, tal como se observa en el siguiente cuadro 2.

**Cuadro 2**

*Modelos de Cámaras: Lifecam HD-3000 y Logitech HD C270*

Parámetros	Lifecam HD-3000	Logitech HD C270
<b>Píxeles</b>	720p	720p
<b>Calidad de imagen</b>	Imágenes automáticamente de colores brillantes	Imágenes brillantes
<b>Captura</b>	Panorámica	Normal
<b>Captura en la oscuridad</b>	Si	No
<b>Puerto de conexión</b>	USB 2.0	USB 1.1
<b>Dimensiones</b>	44.5mm x 109mm	55mm x 120mm

Fuente: Elaboración Propia (2017)

Como se observa en el cuadro 2, los dos modelos de cámaras seleccionados presentan alta tecnología y características similares en cuanto a cantidad de píxeles, calidad de la imagen y dimensiones, adaptables a las necesidades de los robots tipo colmena para el desarrollo de actividades en el área de la construcción basados en visión de máquina, seleccionándose la cámara Lifecam HD-3000 por presentar mayor capacidad de captura panorámica y nocturna, lo que le da mayor capacidad de resolución.

Igualmente, como parte de los requerimientos necesarios para la elaborar los robots tipo colmena para el desarrollo de actividades en el área de construcción basado en visión de máquina, se llevó a cabo la selección de los chasis mágicos que conformarían a los robots, comparándose las ruedas tipo carro con base para Arduino y el chasis mágico tanque RP5, mediante el análisis de las características requeridas para la fabricación de los autómatas: voltaje máximo del motor, velocidad, torque, consumo eléctrico y diámetro de las ruedas (ver cuadro 3).

Los resultados arrojaron que las ruedas tipo carro con base para Arduino, presentan mayor estética, flexibilidad y efectividad de adaptación en cualquier tipo de terreno, apropiadas para el trabajo en las obras de construcción, donde serán utilizadas, por lo que varios robots serán fabricados con este tipo de ruedas. A su vez, uno de los autómatas contará con cuatro ruedas de 120 mm que proporcionan la locomoción idónea para los robots que trabajaran en el exterior. Las ruedas estarán conformadas por una llanta de pvc y una cubierta de caucho ideal para todo terreno por el diseño con estrías rellenas de goma espuma, proporcionando mayor tracción en terrenos accidentados. Las mismas pueden fijarse sobre un eje de 6 mm con la ayuda de los casquillos de fijación hexagonales S360187.

A su vez uno de los robots estará compuesto por ruedas tipo oruga, por su mejor adaptación a cualquier tipo de terreno, considerando que se encontrarán terrenos

inhóspitos, desérticos y salvajes donde se ejecutaras las obras de construcción que deberán recorrer para realizar el trabajo de inspección y visualización de manera efectiva y eficaz, en concordancia a lo indicado por Ollero (2001).

Cuadro 3

*Ruedas Tipo Carro con Base para Arduino vs. Chasis Mágico Tanque RP5*

Parámetros	Ruedas tipo carro con base para Arduino	Chasis Mágico Tanque RP5
Voltaje Máximo del motor	6VDC	7.2VDC
Velocidad	90±10 RPM	15 cm/seg
Torque	800 gf.cm	No indica
Consumo	1 Amp	210 mAmp
Ruedas	Diámetro 65mm – Ancho 30mm. Llantas de plástico con ruedas de goma	Oruga

Fuente: Elaboración Propia (2017)

Asimismo, para continuar con los requerimientos ideales para el diseño y construcción de los robots, se llevó a cabo una investigación para definir el sistema de radiofrecuencia para la comunicación, el espectro electromagnético, los conductores y la antena respectivamente., considerándose como parámetros de comparación la frecuencia, modulación, data del receptor de salida y voltaje del transmisor de entrada de los sistemas Tx-Rx 433MHz y Tx-Rx 315MHz (ver cuadro 4).

Los resultados arrojaron que los dos espectros de radiofrecuencia son similares en cuanto a los parámetros modulación, data del receptor de salida y el voltaje requerido por el transmisor, pero el Tx.Rx 433MHz mostró mayor alcance del parámetro frecuencia, razón por la cual fue seleccionado para ser instalado en los robots tipo colmena a ser propuesto en la investigación, en concordancia a lo indicado por Macchiavello (2008).

Cuadro 4

Sistemas Radiofrecuencia: Tx-Rx 433MHz y Tx-Rx 315MHz

Parámetros	Tx-Rx 433MHz	Tx-Rx 315MHz
Frecuencia	433MHz	315MHz
Modulación	ASK	ASK
Data del receptor de salida	Alto 1/2Vcc Baja 0.7V	Alto 1/2Vcc Baja 0.7V
Voltaje transmisor de entrada	3-12V	3-12V

Fuente: Elaboración Propia (2017)

Finalmente para dar cumplimiento al objetivo referido a determinar los requerimientos para el diseño y fabricación de los autómatas, se contempló la instalación de un dispositivo bluetooth, capaz de enviar señales a los robots a larga distancia, seleccionándose el Módulo Arduino Bluetooth y el Circuito Integrado Interfaz Bluetooth, estableciéndose como criterios de comparación la sensibilidad típica, potencia de transmisión, el bluetooth y voltaje para su operación, tal como se muestra a continuación en el cuadro 5.

Se evidencia, de acuerdo a los resultados que los dos dispositivos bluetooth comparados presentan características similares en cuanto a sensibilidad típica, pero respecto a los restantes parámetros comparados el Módulo Arduino Bluetooth (Arduino, 2017) presenta mayor alcance en cuanto a distancia, potencia de transmisión, mayor capacidad de modulación del dispositivo bluetooth, siendo el seleccionado para ser instalado en los robots tipo colmena a fabricar.

Cuadro 5

*Módulo Arduino Bluetooth y Circuito Integrado Interfaz Bluetooth*

Parámetros	Módulo Arduino Bluetooth	Circuito Integrado Interfaz Bluetooth
Sensibilidad típica	-80dBm	-80dBm
Potencia de transmisión	+4dBm	+2dBm
Bluetooth	V2.0 + EDR 3Mbps de modulación	V1.1 + EDR 921Kbps de modulación
Voltaje Operación	1.8 a 3.6 V	30 mA

Fuente: Elaboración Propia (2017)

### Diseño de Robots tipo colmena

Para el diseño de los robots tipo colmena para el desarrollo de actividades basado en visión de máquina, se siguieron una serie de pasos dirigidos hacia el logro de los objetivos propuestos en la investigación. Primeramente, se procedió al diseño esquemático del prototipo en el software de programación LiveWire Laboratorio virtual, para con el fin de simular los circuitos electrónicos virtuales empleando animación y sonido, el circuito del cerebro y requerimientos del voltaje eléctrico (New Wave Concepts, 2017).

Siguiendo paso a paso las instrucciones del manual del fabricante (New Wave Concepts, 2017), se procedió al diseño y conexión de cada uno de los componentes de forma digital en el software LiveWire, para conformar el circuito denominado cerebro de los prototipos robóticos, formado por distintos componentes electrónicos de fácil adquisición, entre los que se encuentran el microcontrolador Arduino atmega 328 que contiene el programa diseñado especialmente para los autómatas.

Asimismo, se instaló un módulo Arduino Bluetooth, tecnología disponible en cualquier dispositivo electrónico como teléfonos celulares, computadoras, tablets, entre otros, lo que permite una fácil conexión con los prototipos y se pueda dar comandos a los mismos para realizar las tareas para lo cual están fabricados los robots tipo colmena.



La figura 1 muestra esquemáticamente el circuito diseñado para el módulo Arduino Bluetooth, el cual está compuesto por diferentes componentes electrónicos, entre los cuales se pueden destacar resistencias, diodos capacitores, diodos leds, asimismo se encuentra en receptor Rx el cual recibirá la señal desde la computadora u otros dispositivos electrónicos (teléfonos celulares o Tablet), configurados para dar las señales a los prototipos robóticos conectados simultáneamente a los robots tipo colmena.

El protocolo de comunicaciones diseñado para el módulo Arduino Bluetooth permitirá facilitar las comunicaciones por radiofrecuencia entre los equipos móviles, eliminar la instalación de cables y conectores entre estos, así como ofrecer la posibilidad de crear redes inalámbricas y facilitar la sincronización de datos entre los equipos conectados y configurados, con bajo consumo y bajo costo (Arduino, 2017). Los dispositivos no tienen que estar alineados, pueden estar ubicados en áreas separadas, como es el caso de las obras de construcción donde serán utilizados.

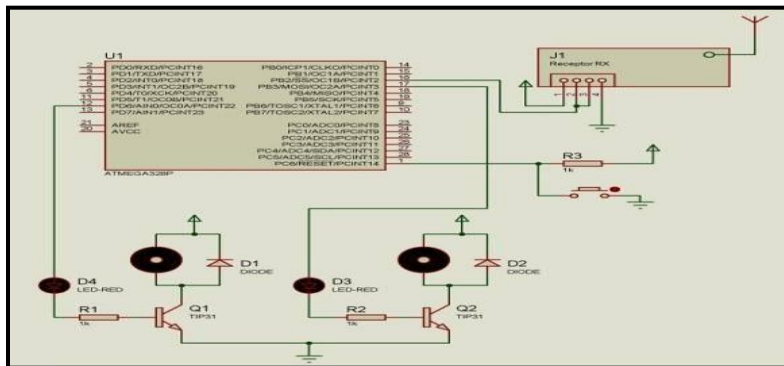


Figura 1. Diseño Esquemático del Módulo Arduino Bluetooth  
Fuente: Elaboración Propia (2017)

Asimismo, en la siguiente figura 2 se muestra el esquemático del circuito del cerebro de los robots, conformado por diferentes componentes esenciales para el buen funcionamiento del circuito electrónico, como resistencias, condensadores, osciladores, diodos, bumpers, entre otros.

Seguidamente se procedió a realizar el diseño esquemático de la fuente de poder de cada uno de los autómatas, la cual cuenta con componentes como capacitadores, resistencias, conectores, entre otros, encargada de alimentar energéticamente los robots tipo colmena para el desarrollo de actividades en el área de la construcción basados en visión de máquina. La misma está diseñada con la capacidad de conectar baterías de nueve (9) voltios, equipos de fácil adquisición, para ser conectados directamente a una toma corriente, para la recarga periódica de dichas baterías.

Se acota, los prototipos robóticos pueden funcionar sin instalarle estas baterías, pero su movilidad se dificultaría por las distancias que requieren alcanzar los robots tipo colmena, como es el caso de estudio su fabricación para ser utilizados en obras de construcción, debido a que los mismo estarían limitados a la longitud del cable desde la fuente de corriente eléctrica hasta el sitio donde se requiere trabajar.

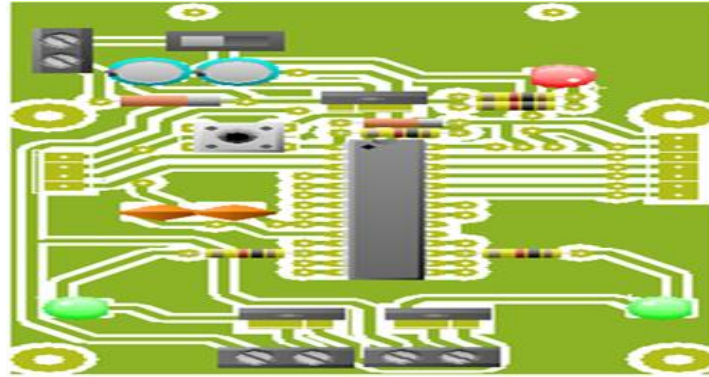


Figura 2. Diseño esquemático del Circuito del cerebro.  
Fuente: Elaboración Propia (2017)

Del mismo modo, se realizó la interfaz gráfica utilizando el lenguaje de programación y plataforma informática Java (2017), diseñada especialmente para controlar a los robots tipo colmena para el desarrollo de actividades en el área de la construcción basados en visión de máquina, la cual contiene botones los cuales le dan las instrucciones a los autómatas para que realicen las actividades para los cuales están diseñados.



Figura 3. Interfaz Gráfica de Usuario. Inicio  
Fuente: Elaboración Propia (2017)

Se realizó una pantalla de inicio para acceder a los comandos y configuraciones de los robots tipo colmena para las cuales están programados; en particular les permiten la identificación de materiales de construcción basados en visión de máquina. La misma contiene un botón de selección denominado iniciar, que al presionarlo lleva a la siguiente pantalla



Figura 4. Interfaz Gráfica de Usuario. Tareas.  
Fuente: Elaboración Propia (2017)

A su vez, como se puede observar en la figura 4, también se diseñó una interfaz que permitiera, luego de presionar el botón iniciar, mostrar varios botones por si el usuario quiere realizar tareas automáticas para las cuales los robots están configurados. Igualmente, puede acceder al control manual para sí requiere agregar nuevas tareas o salir del sistema.

Siguiendo con el diseño del programa para la manipulación de los autómatas, se realizó una interfaz de comunicación entre los robots, utilizando el programa Arduino 1.6.8 (software libre), el cual consta de dos tarjetas Arduino, una por cada robot, las cuales están programadas de manera que exista comunicación entre los autómatas por medio de bluetooth y a su vez por radiofrecuencia; es decir, se acoplaron estas dos tecnologías para lograr el alcance en distancias mayores a 280 metros por los robots tipo colmena en el desarrollo de actividades en el área de la construcción basados en visión de máquina.

Luego se continuó con la configuración del Arduino Atmega328, mediante el lenguaje de programación Arduino (basado en Wiring) y el entorno de desarrollo Arduino (basado en Processing), hasta lograr el buen funcionamiento del mismo. Cabe destacar, el programa fue diseñado para ejecutar señales por medio de teléfonos móviles, tablets o computadoras, una vez se inicie determinada secuencia, dependiendo de la selección del tipo de materiales que el usuario desee utilizar. Cada material fue configurado en la lógica del programa mediante la captura de la imagen, segmentación y procesamiento de la misma, detección de bordes, requerimientos y los pasos a seguir para el buen funcionamiento de la visión artificial o de máquina.

Asimismo, la programación de los robots fue diseñada para que al ser encendidos ejecuten un auto chequeo, mostrando información en la pantalla del dispositivo conectado a los robots, sobre si están listos para utilizarse o presentan alguna falla de sistema o componentes dañados a fin de ser reparados inmediatamente, ahorrando tiempo al usuario al momento de solventar cualquier problema.

Cuando el trabajo termine el sistema se apagará automáticamente, avisando al usuario por medio de un sonido que emitirá el robot en conjunto con un reporte de diálogo que se mostrará en el dispositivo utilizado, desde donde se darán órdenes a los autómatas. Finalmente, después de realizar la programación del Arduino atmega 328 se realizó la migración de toda la información al microcontrolador y al programa diseñado para este proceso.

## Construcción de los prototipos de robots tipo colmena para el desarrollo de actividades en el área de construcción basado en visión de máquina.

Para la construcción de los robots tipo colmena para el desarrollo de actividades en el área de la construcción basados en visión de máquina, después de haber realizado el diseño esquemático de los circuitos que conformaron los autómatas, se procedió en primera instancia a la búsqueda y adquisición de los principales componentes y equipos requeridos para el ensamblaje y fabricación de los robots tipo colmena. A continuación, los más destacados:

- Arduino atmega 328
- Placas Arduino
- Sistemas de radiofrecuencia
- Módulo Arduino Bluetooth para la estructura del prototipo
- Chasis prefabricados, de gran utilidad por contar con servomotores en sus ruedas, facilitando la fabricación de los autómatas.

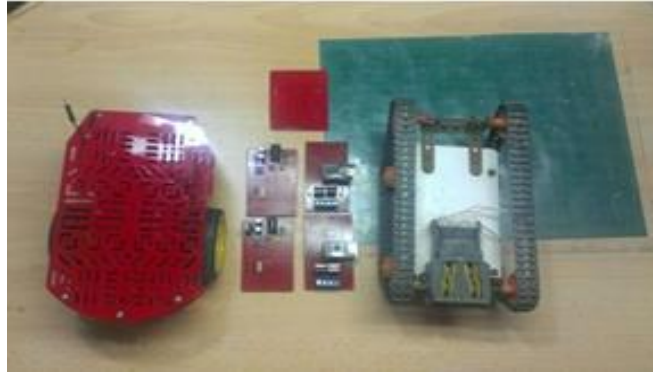
Cabe destacar que en el programa desarrollado se dispusieron una serie de instrucciones para que las ruedas de los prototipos robóticos se manejaran a una velocidad moderada, evitando posibles errores o fallas al momento de realizar sus tareas asignadas. En la figura 5 se puede apreciar la conexión del Módulo Arduino Bluetooth, a través del cual se creó la interfaz de comunicación entre los dispositivos con los cuales se manipularon los robots tipo colmena para el desarrollo de actividades en el área de la construcción basada en visión de máquina. Seguidamente se realizó la impresión, planchado y atacado químico, utilizando una baquelita para imprimir sobre ella, la cual se taladró para soldar los componentes requeridos.



Figura 5. Circuito del cerebro. Módulo Arduino Bluetooth  
Fuente: Elaboración Propia (2017)

Luego de la conexión del Módulo Arduino Bluetooth, se procedió al ensamblaje del circuito en la base de las ruedas, utilizando para ello dos tipos de rodamientos, uno con ruedas de cauchos y otro con ruedas tipo oruga, para asegurar que los autómatas pudieran realizar sus tareas en cualquier tipo de terreno o área donde les correspondiera ejecutar sus tareas.

Para concluir la construcción del prototipo de robots tipo colmena, se instaló y conexió la cámara Lifecam HD-3000, encargada de la visión artificial o de máquina que poseen los autómatas para reconocer los materiales de construcción en las obras donde sean asignados, siguiendo las instrucciones del fabricante, a fin de mantener la uniformidad, apariencia y estética en el conjunto.



*Figura 6. Robots Tipo Colmena*  
Fuente: Elaboración Propia (2017)

Finalmente, en la figura 6 se muestran las estructuras fabricadas en conjunto con las tarjetas de Arduino, las cuales fueron diseñadas para manipular los robots junto a la interfaz creada para el desarrollo de las actividades de inspección e identificación de los materiales en las obras de construcción, dando así cumplimiento al último objetivo de la investigación.

### Conclusiones

La investigación permitió identificar oportunidades de mejora en cuanto a seguridad del personal y equipos, productividad y rendimientos de la mano de obra en la construcción de las obras asignadas a las empresas de construcción. Por tanto es de valiosa relevancia la presente propuesta sobre el diseño y fabricación de robots tipo colmena que faciliten el proceso de identificación e inspección de los materiales en la ejecución de las actividades de construcción basados en visión de máquina.

El diseño demostró que para la fabricación y posterior funcionamiento óptimo de los robots tipo colmena para el desarrollo de actividades en el área de la construcción basados en visión de máquina, se requiere de software de programación como Arduino y Java para programar el microcontrolador Arduino Atmega 328, diseñar los circuitos electrónicos, realizar la interfaz gráfica y de comunicación, así como crear el cerebro de la operación en conjunto con LiveWire. Se fabricó el prototipo como parte del alcance del objetivo general del estudio dirigido a proponer robots tipo colmena para el desarrollo de actividades en el área de construcción basado en visión de máquina.



### Referencias Bibliográficas

- Arias, F (2006). *El Proyecto de Investigación. Guía para su elaboración*. Caracas, Venezuela: Editorial Episteme.
- Arduino (2017). *Manual del Fabricante*. Recuperado de: [www.arduino.cc](http://www.arduino.cc)
- Cerda, H. (2006). *Los elementos de la Investigación*. México: Editorial El Búho LTDA.
- Groussard, T (2006). *Recursos Informáticos*. Barcelona, España: Ediciones Softwares SL,
- Hernández, R. Fernández, C. y Baptista, P, (2014). *Metodología de la investigación*. México D.F.: Editorial Mw Graw Hill.
- Hurtado, J (2012). *Metodología de la Investigación*. Caracas, Venezuela: Sypal.
- Java (2017). *Manual del Usuario*. Recuperado de: <https://desarrolloweb.com/manuales/manual-javascript.html>
- Macchiavello, D (2008). *Robótica: Manipuladores y Robots Móviles*. España: Editorial académica española.
- New Wave Concepts (2017). Manual del fabricante. Recuperado de: <https://www.new-wave-concepts.com/>
- Ollero, A. (2001). *Robótica: Manipuladores y Robots Móviles*. Barcelona, España: Marcombo S.A, Boixareu Editores.
- Picaxe (2017). Recuperado de: <https://picaxe.com/>
- Rodríguez, J. y Pineda, K. (2006). *Metodología de la Investigación. Manual para el Desarrollo de personal de salud*. Washington, D.C. Editorial; organización mundial de la salud.
- Senn, J (2004). *Análisis y Diseño de Sistemas de Información*. México: Mc Graw Hill.
- Sommerville, Ian (2006). *Ingeniería del software*. Madrid, España: Pearson Educación, S.A.
- Universidad Pedagógica Experimental (2009). Proyecto Factible. *Manual de Tesis de Grado, Especialización, Maestría y Tesis Doctorales de la Universidad Pedagógica Libertador*. venezuela: editorial; Sapiens. Revista Universitaria de Investigación.