

# Ensamblaje y control de un rostro robótico que simule los movimientos del rostro humano

César Astudillo, Henry López, Nelson Sotomayor, Escuela Politécnica Nacional (EPN), Quito - Ecuador

**Resumen** – En el presente trabajo se ha desarrollado el ensamblaje y control de un rostro robótico capaz de simular las emociones expresadas por un rostro humano, el cual cuenta con distintas prestaciones como reconocimiento de voz, comunicación inalámbrica, reproducción de formato MP3 y 21 grados de libertad que, en su combinación, brindan un amplio rango de movimientos y realismo.

El control del rostro robótico comprende el control de servomotores, acondicionamiento y manejo de sensores que recogen información del medio en donde se encuentre el robot, reproducción y reconocimiento de comandos de voz preestablecidos. Se ha implementado el algoritmo de control en un red serial maestro-esclavo compuesta por dos microcontroladores ATmega 644PA.

## I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años se ha visto el acelerado esfuerzo del hombre por crear y desarrollar robots humanoides que no solo sean funcionales en tareas cotidianas, sino también se pueda interactuar con ellos de forma que se logre establecer diálogos simples y simular un rostro humano auténtico.

Este proyecto tiene como objetivo principal enfatizar la importancia que se debe dar a estos temas en los que no solo participa la ingeniería, ya que además incluye sociología humana, y se señala la insistencia en que los robots posean cada vez rasgos más humanos, proporcionándoles a estos de algoritmos de control mediante los cuales puedan ser sociales de forma que adquieran capacidades cognitivas, características basadas en la experiencia personal del propio ser humano.

## II. PREPARACIÓN DEL TRABAJO TÉCNICO

Este prototipo se encuentra dotado de tres funciones fundamentales: motricidad (nivel físico), percepción (nivel sensorial) y decisión (nivel de control).

### A. Sistema de Control del Robot

En su funcionamiento usual se tienen dos modos de control: manual y automático.

En modo manual el rostro robótico puede ser controlado a través de una interfaz gráfica desde el computador en forma inalámbrica, consiguiendo simular expresiones humanas previamente definidas, así como el control de cualquier parte de su rostro.

En modo automático se tiene un comportamiento basado en condiciones ambientales específicamente: temperatura, ruido e intensidad luminosa, así como la capacidad de responder ante comandos de voz previamente asignados, siempre y cuando existan espectadores frontales al mismo, todo lo mencionado se logra gracias al apoyo de varios sensores y actuadores.

### B. Arquitectura de Control

En la Fig. 1. se presenta la arquitectura de control, a partir de la cual se ha realizado el diseño electrónico necesario para asegurar un funcionamiento acorde a lo establecido.

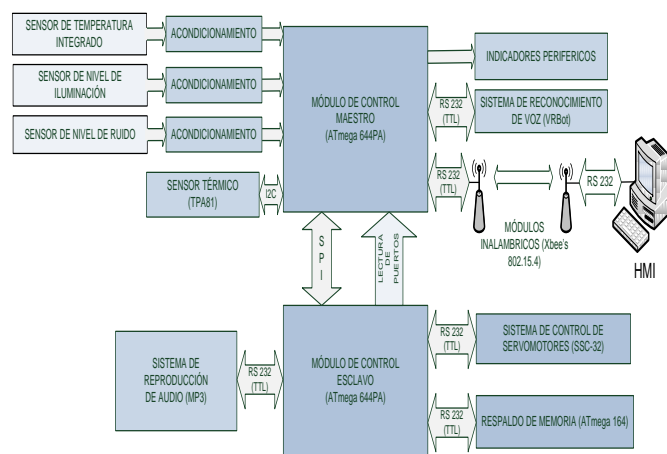


Fig. 1. Arquitectura del control.

### C. Sistema Sensorial

Con el afán de simular el estado de ánimo y/o actitud del ser humano cuando éste es afectado por diversos estímulos (temperatura, iluminación y cantidad de ruido), se ha diseñado un sistema sensorial gobernado por un microprocesador mediante sus conversores analógico-digitales (ADC).

Se han establecido los rangos de medida de las variables ambientales en la Tabla I.

TABLA I  
RANGOS ESTABLECIDOS PARA DISEÑO.

Temp. [°C]	Iluminación [lx]	Ruido [dB]
0-50	0-1500	40-100

#### 1) Sensor de Temperatura:

Para iniciar con el acondicionamiento del sensor LM35 polarizado con 5VDC, se limita el rango de temperatura de operación según las temperaturas habituales en el vivir diario del humano, se toma en consideración la relación lineal del sensor ( $10\text{mV}/^\circ\text{C}$ ) [1], y se emplea una etapa de amplificación lineal cuya ganancia entregue un voltaje de salida de 0 – 5V, útil en la lectura de datos analógicos por medio del microprocesador.

En la Fig. 2. se muestra el circuito resultante, donde  $R1=3\text{k}\Omega$  y  $R2=27\text{k}\Omega$ .

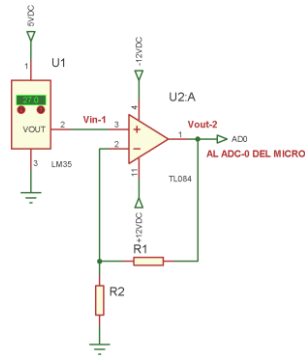


Fig. 2. Acondicionamiento del sensor LM35.

### 2) Sensor de Nivel de Iluminación:

Para determinar la iluminación ambiental cuantificada en luxes (lx) se utiliza un resistor dependiente de la luz (LDR), a pesar de poseer una velocidad de respuesta relativamente lenta frente a otros sensores de función similar, resulta útil en este robot, pues permite obtener transiciones de lecturas suavizadas.

Su acondicionamiento se lo hace con un divisor de voltaje, en la Fig. 3. se puede observar dicho divisor, donde  $R3=12\text{ k}\Omega$ .

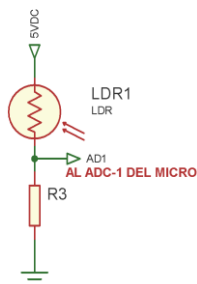


Fig. 3. Acondicionamiento y polarización del LDR.

### 3) Sensor de Nivel de Ruido:

Se emplea el micrófono CNZ-15E, el cual es omnidireccional, con encierro de diafragma de presión y transducción mecánica-eléctrica de tipo electrostática.

El rango de frecuencias en las cuales trabaja el micrófono se ajusta al rango audible del ser humano (20 – 20kHz) [2], lo cual elimina la necesidad de emplear un filtro pasa banda que corte las frecuencias no pertenecientes al rango audible.

La polarización del micrófono se lo hace a través de una resistencia  $R4=33\text{ k}\Omega$ , y para separar la señal alterna de la componente dc se utiliza un capacitor cerámico  $C1=10\text{ nF}$ , lo que se puede constatar en la Fig. 4.

Para simular la curva de comportamiento del oído humano dentro del rango audible se implementa un filtro tipo A cuyo efecto se asemeja a la curva de ponderación A, único recurso útil para evaluar y justipreciar problemas de ruido que propicien daño auditivo [3].

Se utiliza el amplificador de audio LM386N para obtener la señal proveniente del micrófono, para lo cual se emplea la configuración recomendada por el fabricante del amplificador, como se muestra en la Fig. 4.

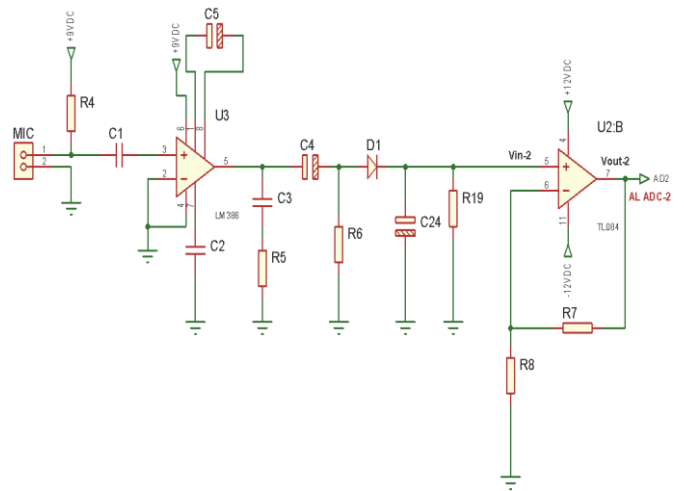


Fig. 4. Esquemático del sensor de nivel de ruido.

En la Tabla. II se tienen los valores de los elementos dados por el fabricante.

TABLA II  
COMPONENTES DE LA ETAPA PRE-AMPLIFICADORA

Elemento	Simbolo	Valor
Capacitor cerámico	C2	50 nF
Capacitor cerámico	C3	50 nF
Capacitor electrolítico	C4	250 $\mu\text{F}$ @ 35 V
Capacitor electrolítico	C5	10 $\mu\text{F}$ @ 35 V
Resistencia	R5	10 $\Omega$
Resistencia (Parlante)	R6	8 $\Omega$

Para obtener un cambio suave de voltaje a la salida del diodo se implementó una red R-C compuesta por R19 y C24, con una constante de tiempo definida por experimentación de 10ms.

Por lo tanto se tiene que  $R19=10\text{ k}\Omega$  y  $C24=1\mu\text{F}$ . Siguiendo con la segunda etapa de amplificación se tiene que cumplir con una ganancia de 1.68, para lo que  $R6=68\text{ k}\Omega$  y  $R7=100\text{ k}\Omega$ .

### 4) Sensor Térmico (TPA81):

Se emplea éste sensor por ser capaz de detectar presencia frontal únicamente de personas, y por ser una solución económica respecto a otros sensores de su clase.

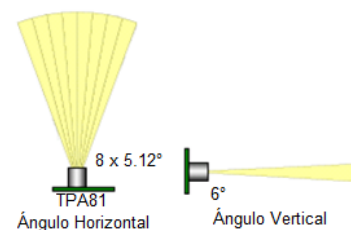


Fig. 5. Campo visual del sensor TPA81, tomado de [4]

Posee un arreglo lineal de 8 termopilas adyacentes capaces de medir la temperatura simultáneamente, el punto de vista horizontal de cada termopila es de  $5.12^\circ$ , y  $6^\circ$  en forma vertical, dotando de tal manera al sensor de un campo visual de  $41^\circ \times 6^\circ$ .

En la Fig. 6. se observa la conexión del sensor TPA81, por recomendaciones del fabricante se han utilizado

resistencias de  $1.8k\Omega$  para R9 y R10, las líneas SCL y SDA se conectan al microcontrolador que actuará como máster en el bus I2C, el mismo que interpretará si existe o no una persona frente al robot.

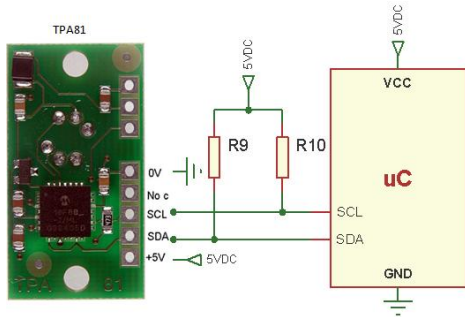


Fig. 6. Diagrama de control del sensor térmico TPA81.

#### D. Sistema Escucha Habla

Para facilitar la interacción social, se ha dotado al robot de un sistema que lo hace capaz de reconocer comandos de voz pre-programados, y responder a éstos dependiendo de su estado de ánimo con sincronizados movimientos de labios, y acompañado de una expresión facial apropiada que imprima la sensación de que el robot siente lo que dice.



Fig. 7. Labios pronunciando los fonemas / U/, / M / y / F/, tomado de [5]

#### 1) Reproducción de Voz:

Para reproducir la voz del robot se emplea un reproductor de audio MP3 modelo WT9501M03.

Las conexiones necesarias para el control del módulo son presentadas en la Fig. 8. allí se observa la configuración Pull-up requerida para obtener 3.3V en las líneas de reset y enable provenientes del microcontrolador.

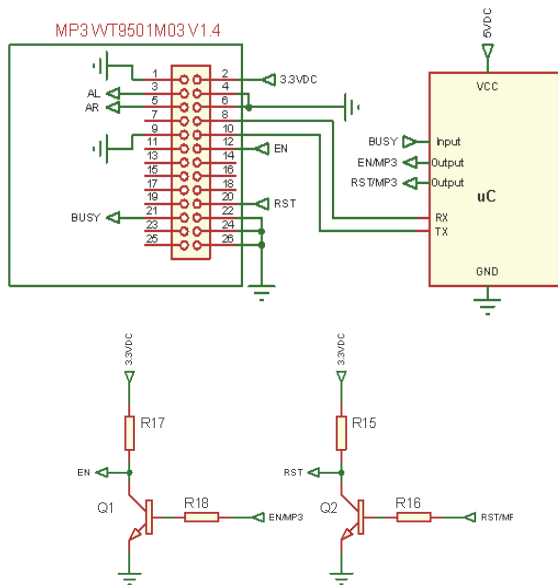


Fig. 8. Esquemático de control del módulo de audio WT9501M03.

Las resistencias de las bases de los transistores son de  $1k\Omega$ , mientras que las resistencias de pull-up son de  $5.6k\Omega$ .

#### 2) Reconocimiento de Comandos de Voz:

Este dispositivo reconoce comandos de voz pre-programados, para grabar los comandos de voz se utiliza el programa VRbot-GUI1.1.5 para WINDOWS, el proceso se realiza serialmente con el computador, lo que hace necesario el empleo del conocido MAX232 para obtener voltajes lógicos TTL.

Por recomendación del fabricante del MAX232, todos los capacitores electrolíticos deben tener un valor de  $1\mu F$  [6].

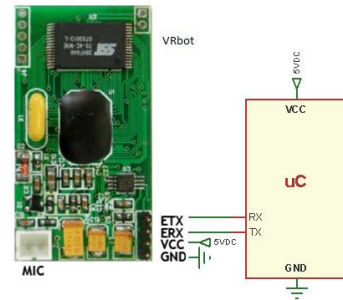


Fig. 9. Circuito de control del módulo VRbot.

#### E. Sistema Dinámico Facial

Para lograr controlar el movimiento sincronizado del rostro se emplea la tarjeta SSC-32, que opera de acuerdo a los parámetros configurados mediante sus jumpers, estos permiten variar: los niveles de comunicación (DB9 o TTL); modo de comunicación (unidireccional o bidireccional); la velocidad de comunicación; la alimentación de los servos y la alimentación lógica.

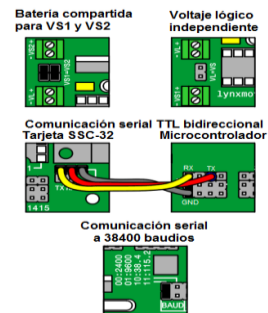


Fig. 10. Conexiones de configuración de la tarjeta SSC-32, tomado de [7]

Como se mencionó antes se poseen 21 grados de libertad, por lo tanto son 21 servomotores controlados a través de esta tarjeta, mediante la que se controla posición y velocidad de los servos.

Como se puede observar en la Fig. 12. se tienen que mover varias partes del rostro, como son entre los más importantes ojos, párpados, cejas, boca, labios, cuello, por lo que se vuelve parte fundamental el aspecto motriz, para lo cual se ha utilizado una gama variada de servos, los cuales se citan en la Tabla III, estos se energizan con una fuente switching comercial de 6VDC.



Fig. 11. Ensamblaje final del Robot.

TABLA III  
SERVOS EMPLEADOS

SERVO	TORQUE	VOLTAJE
MICRO HS-55	1.3kg/cm	6VDC
MICRO HT-900	1.6kg/cm	6VDC
HS-311	3.5kg/cm	6VDC
HS-485HB	6 kg/cm	6VDC
HS-645MG	9.6 kg/cm	6VDC

### F. Sistema Microprocesado

Debido a los múltiples procesos que se deben llevar a cabo simultáneamente y al número de comunicaciones requeridas, se emplea un sistema de control mediante una red maestro-esclavo, y por lo extenso de la programación se emplea un tercer microcontrolador como respaldo de memoria del microcontrolador esclavo.

Se utilizan dos módulos XBee 802.15.4 1mW S1 para comunicar inalámbricamente al robot con el HMI realizada en LabVIEW, ambos envían y reciben datos y se configuran en modo transparente punto a punto, un modo de programación sencillo y con las opciones suficientes para garantizar un enlace rápido y seguro, en la Fig. 13 se observa el circuito de control.

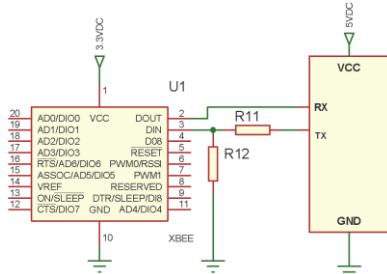


Fig. 12. Circuito de control

En la Fig. 13. se utiliza un divisor de voltaje para no dañar el Xbee con voltajes superiores a 3.3VDC, por lo tanto la resistencia  $R11=10k\ \Omega$  y  $R12=20k\ \Omega$ .

El sistema maestro utiliza el microcontrolador Atmega 644PA, se comunica serialmente: con el módulo XBee y con el módulo VRbot por medio de sus puertos UART; con el microcontrolador esclavo mediante una interfaz SPI implementada por software; y con el sensor térmico TPA81 empleando una comunicación I2C.

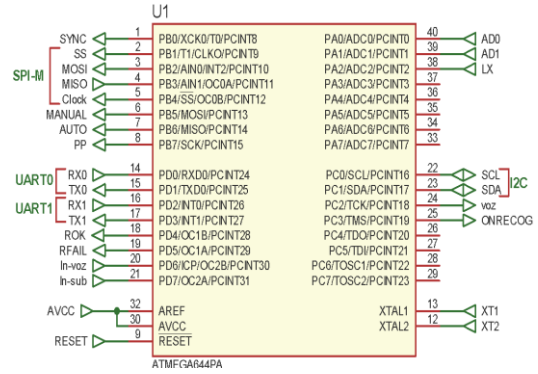


Fig. 13. Distribución de pines y conexiones del microcontrolador maestro.

El sistema esclavo emplea el microcontrolador 644PA, se comunica serialmente: con la SSC-32 y con el respaldo de memoria por medio de sus puertos UART; con el módulo MP3 a través de un puerto UART implementado por software, y como se menciona anteriormente con el microcontrolador maestro mediante la interfaz SPI.

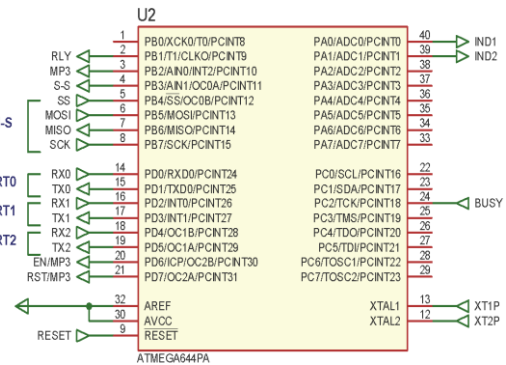


Fig. 14. Distribución de pines y conexiones del microcontrolador esclavo.

### G. Desarrollo del Programa de Control

Para la programación de los microcontroladores se ha empleado Bascom AVR, un compilador para la familia de microcontroladores AVR de Atmel capaz de convertir el lenguaje BASIC del programa en un código hexadecimal, mientras que la interfaz de usuario ha sido desarrollada en el software LabVIEW 2009.

La particularidad de este prototipo radica en su lógica de control basada en algoritmos del tipo estímulo-respuesta, ésta lógica define un modelo emocional capaz de imprimir en el robot actitudes y gestos similares a los humanos.

#### 1) Teoría del Modelo Emocional:

Los modelos emocionales han surgido de la necesidad de imprimirle actitud a un robot, se encargan de sintetizar y expresar emociones tomando en cuenta la credibilidad y la legibilidad de la conducta facial, donde credibilidad representa el realismo y legibilidad la interpretación acertada de la expresión [8].

Cuando se trata de plataformas robóticas de interacción social, se tiene el desafío de lograr que las emociones sean correctamente percibidas y comprendidas por sus usuarios, aun debido a su capacidad limitada de expresión facial, en términos de movimientos y grados de libertad [9].

La investigación a cargo de Paul Eckman y Wallace Friesen, concluyeron que hay seis emociones que pueden considerarse como universales, es decir reconocibles por

cualquier persona de cualquier condición en cualquier parte del mundo, éstas son: alegría; sorpresa; tristeza; enfado; miedo y desagrado [10].

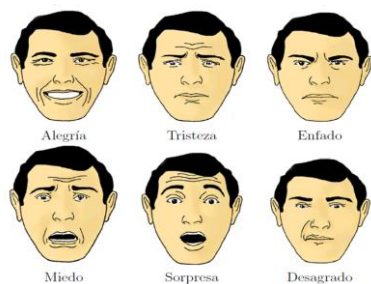


Fig. 16. Emociones básicas universales, tomado de [10]

La organización del sistema emocional implementado está fuertemente inspirada en las teorías mencionadas a continuación:

a) *Teoría de la evaluación o “appraisal theory”:*

Afirma que las emociones son consecuencia de los juicios (“appraisals”) que una persona realiza de los eventos ocurridos en su entorno.

b) *Teoría de scherer:*

Establece un subsistema de procesado de información basado también en “appraisals”, donde cada emoción puede ser claramente determinada por una combinación de estímulos.

c) *Teoría de oatley & johnson-laird:*

Ésta teoría plantea la existencia de un sistema de control compuesto de varios módulos, que se comunican entre sí mediante dos tipos de comunicación:

Comunicación simbólica o proposicional: A través de esta comunicación se envía información acerca del entorno.

Comunicación no proposicional o de naturaleza emocional: Sumerge a todo el sistema en un modo emocional, se asemeja a una interrupción en programación, este tipo de comunicación puede invocar acciones de unos módulos e inhibir otros.

d) *Teoría de ortony, clore y collins (occ):*

Esta teoría define las fases del procesamiento emocional, mediante las cuales se pueden diseñar las emociones o actitudes que posteriormente serán representadas en el agente artificial.

2) *Implementación del Modelo Emocional*

Por la robustez a la hora de explicar el comportamiento emocional de las personas, se parte de la “appraisal theory” como base del sistema emocional, para conocer la información del exterior proveniente de los sensores, son generados tres cuantificadores ambientales (ruido, iluminación y temperatura).

El módulo generador de emociones compara dichos cuantificadores con los asignados en las reglas de control, identifica la emoción resultante y sumerge a todo el sistema en tal estado emocional. El modelo emocional aplicado se observa en la Fig. 18.

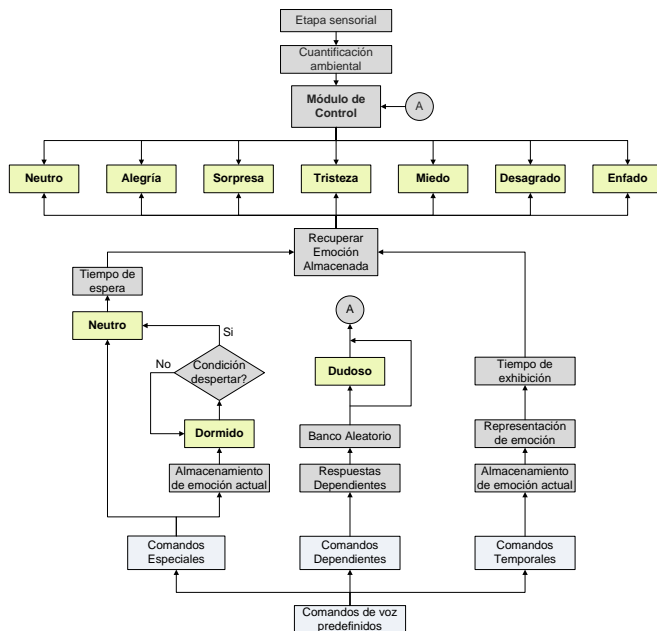


Fig. 17. Modelo emocional diseñado e implementado en el robot.

Para simplificar el modelo emocional se emplean las 6 emociones básicas del modelo de Eckman y Friesen: alegría; sorpresa; tristeza; miedo; desagrado; y enfado, y 3 estados especiales: neutro; dudoso; y dormido.

Las expresiones que logra simular el robot se las puede constatar en la Fig. 19.



Fig. 18. Emociones básicas, 1: Miedo, 2: Sorpresa, 3: Enojo, 4: Desagrado, 5: Tristeza, 6: Felicidad.

H. *Implementación de los Programas de Control*

Como se tiene una red maestro-esclavo se tiene un programa principal para cada microprocesador de la red, por lo cual se divide de la siguiente manera.

1) *Microcontrolador maestro:*

El microcontrolador maestro posee el programa principal de operación y varias subrutinas, a partir de las cuales se determina el comportamiento y las capacidades que el robot exhibirá en sus respectivos modos de operación.

a) *Programa principal:*

En el programa principal se configuran: los puertos entradas/salidas, los puertos de comunicación serial, comunicación I2C, comunicación SPI, conversión AD, y finalmente las interrupciones empleadas.

Este programa permite establecer el modo de operación, sea este manual o automático.

## 2) *Microcontrolador esclavo:*

El programa del microcontrolador esclavo se compone de varios procedimientos y subrutinas, mediante las cuales se ejecutan las acciones requeridas y determinadas por parte del microcontrolador maestro.

### a) *Programa principal:*

En el programa principal se realiza la configuración de los puertos entradas/salidas, comunicaciones seriales, comunicaciones SPI, y finalmente la configuración de las interrupciones empleadas.

### 3) *Interfaz de Usuario:*

La interfaz gráfica desarrollada en LabVIEW 2009 funciona como control remoto para establecer el modo de operación manual o automático, a su vez permite controlar el estado de ánimo, la variación de parámetros faciales de forma individual, y el inicio de la presentación del rostro robótico.

## I. *Pruebas y Resultados*

El robot debe permanecer en un lugar preferentemente cerrado donde no exista excesivo ruido ambiental, a fin de que se tenga mayor probabilidad de acertar en el reconocimiento de los comandos de voz pre-grabados.

El discurso-respuesta por parte del robot ante un comando de voz reconocido, no será interrumpido por parte de un nuevo comando de voz proveniente del mismo o de otro usuario, pues el reconocimiento será deshabilitado durante el discurso-respuesta.

Los comandos de voz emitidos por el usuario deberán ser pronunciados claramente y empleando una entonación adecuada.

### 1) *Pruebas mecánicas*

Una vez ensamblado el robot con todos sus componentes, se tiene una estructura robusta en cuanto a la durabilidad, para comprobar el adecuado funcionamiento del robot se realizaron las pruebas mencionadas a continuación:

#### a) *Rango de los servos:*

Al comprobar el funcionamiento de cada uno de los micro-servos y servos empleados, se pudo constatar que en los micro-servos se producía un temblor cuando el eje se aproximaba al límite de los 180°, lo cual fue tomado en consideración para asignar las condiciones de neutralidad una vez ensamblados a sus respectivos sistemas de movimientos.

#### b) *Sistema del cuello:*

Las pruebas de funcionamiento tienen por objeto determinar el correcto funcionamiento del mecanismo en sus tres grados de libertad, al observar el comportamiento del sistema en movimiento, se puede concluir que la relación velocidad/torque resulta adecuada independientemente del movimiento a realizar, lo que comprueba el correcto dimensionamiento de los servomotores empleados.

Para reducir el esfuerzo realizado por el servomotor encargado de los movimientos de inclinación frontal, se agregó un resorte.



Fig. 19. Prueba de movimiento del Sistema de cuello.

#### c) *Sistemas de movimiento:*

Por medio de un programa prueba y empleando la tarjeta SSC-32, se examinaron individualmente los grados de libertad, en lo que se concluyó que los sistemas de movimiento empleados funcionan adecuadamente y acorde a los movimientos requeridos.

### 2) *Pruebas electrónicas:*

La presente sección evalúa el funcionamiento de los sistemas electrónicos, tomando en consideración las restricciones propias del alcance del robot.

#### a) *Sistema sensorial:*

En lo que se refiere al sistema sensorial se verificó el rango en el que los sensores responden adecuadamente, y que dichos rangos (variables ambientales) correspondan a situaciones cotidianas en la vida de un humano.

#### b) *Errores de mediciones:*

Para comprobar que las mediciones de temperatura obtenidas son adecuadas, se han realizado pruebas comparando el valor del termómetro empleado con el valor obtenido utilizando un termómetro ambiental. En el proceso se han obtenido los valores de la Tabla IV, los cuales se han tomado desde 10°C hasta un valor máximo de 28°C. Se presenta un error aceptable del 6.7%, lo cual se debe a que la apreciación del termómetro construido es de 1°C. El termómetro diseñado e implementado en el robot posee un rango de 0°C a 50°C, rango para el cual se asume que fuera de los valores experimentados responderá de la misma manera.

TABLA IV  
ERRORES EN MEDIDAS DE TEMPERATURA

TERMOMETRO EMPLEADO [°C]	TERMOMETRO AMBIENTAL [°C]	%Er
10	10	0,0
12	12	0,0
14	13,5	3,7
16	15	6,7
18	18	0,0
20	20	0,0
22	21,5	2,3
24	24,5	2,0
26	26	0,0
28	27	3,7

Según pruebas experimentales y con la ayuda del sonómetro comercial TES 1335, se detectó que el sensor de ruido diseñado e implementado no capta cambios en el nivel de presión sonora por debajo de los 40dBa, factor que no representa inconvenientes ya que por debajo del mencionado valor no representa molestias al ser humano.

Como consecuencia se han realizado pruebas en el rango de medición de 40 – 100 dBa, rango preestablecido como de funcionamiento y en el cual se han obtenido resultados

favorables, los mencionados valores se indican en la Tabla V.

TABLA V  
ERRORES EN MEDIDAS DE NIVEL DE RUIDO

SONOMETRO DISENADO [dBA]	SONOMETRO COMERCIAL [dBA]	%Er
40	42,3	5,4
45	46,3	2,8
50	51,3	2,5
55	54	1,9
60	60	0,0
65	66,4	2,1
70	69	1,4
75	74,8	0,3
80	81	1,2
85	87	2,3
90	93	3,2
95	95,2	0,2
100	98	2,0

En lo referido al luxómetro diseñado e implementado en el robot, se ha realizado empíricamente el ajuste del error a través de programación y utilizando el luxómetro comercial MTP ST-805, de modo que en el rango de 0 – 3000 lx se obtuvo un error máximo del 7% para ambientes interiores.

TABLA VI  
ERRORES EN MEDIDAS DE NIVEL DE ILUMINACIÓN

LUXOMETRO DISENADO [lx]	LUXOMETRO COMERCIAL [lx]	%Er
0	0	0
30	28	7,1
50	48	4,2
150	145	3,4
300	284	5,6
900	860	4,7
1000	1035	3,4
1500	1613	7,0
2000	1931	4,4
2500	2395	3,6
3000	2845	5,4

c) *Detección de presencia:*

El robot tiene la capacidad de detectar la presencia de personas, lo cual lo hace a través del sensor térmico TPA81 ubicado en el robot en la parte frontal a la altura del pecho. Se detecta la presencia de personas cuando estas se encuentran en frente del sensor a una distancia no mayor a 1.8 metros del prototipo, además se debe añadir que para que se detecte en esa distancia, el robot debe encontrarse por lo menos a 1m de altura con respecto al piso.

El robot en modo automático cuando detecta la presencia de personas habilita la detección de los comandos de voz.

d) *Reconocimiento de voz:*

Los comandos de voz pueden ser reconocidos si se ha detectado la presencia de personas y si el robot no se encuentra emitiendo un discurso respuesta.

En las pruebas realizadas para el reconocimiento de comandos de voz se buscó determinar a qué distancia del micrófono ubicado en la parte frontal del prototipo a la altura del pecho, se tiene un reconocimiento de voz exitoso, con lo cual se comprobó que en un ambiente con poco ruido y el comando emitido con un tono de voz normal en forma frontal al robot a una distancia no mayor a 1.5 metros se tiene un reconocimiento exitoso.

e) *Discurso-respuesta:*

Cuando un reconocimiento de voz es válido, se inicia la reproducción desde el módulo de audio como respuesta a dicho comando, éstos se emiten satisfactoriamente y con un sonido de calidad, acompañado del movimiento de sus labios y las expresiones gestuales adecuadas.

En este aspecto, se pudo comprobar que las respuestas se alternan con cada emisión de un comando de voz similar, lo cual hace mucho más atractiva la interacción con el robot.

f) *Comunicaciones:*

Mediante las pruebas de comunicación serial inalámbrica efectuadas, se ha comprobado que los comandos enviados desde el rostro robótico hacia la interfaz y viceversa son recibidos de forma acertada, obteniéndose resultados favorables para una distancia máxima de 90m sin obstáculos, y con obstáculos a una distancia no mayor a 30m.

J. *Conclusiones y Recomendaciones*

1) *Conclusiones:*

- ❖ En cuanto al diseño y la construcción de robots sociales se ha determinado que no se aplica únicamente el conocimiento de las ciencias de la ingeniería, sino que también se ven envueltos otros aspectos, como sociales, cognoscitivos, entre otros, por lo cual es necesario que el autor se encuentre relacionado o tenga el conocimiento acerca del comportamiento que debería tener un robot de dicha clase frente a diferentes condiciones y/o situaciones.
  - ❖ Los robots del tipo animatronics, han logrado conseguir un avance muy significativo en cuanto al realismo que estos exhiben gracias al desarrollo de nuevos materiales artificiales que se asemejen tanto en realismo como en propiedades a la piel humana, como es el caso del fresh rubber (frubber) marca patentada por Hanson Robotics pero que aún no está siendo comercializada.
  - ❖ La configuración de servomotores en tamaños y torques diferentes, además de la forma sutil en la que estos se encuentran ubicados en su mayoría en el interior del cráneo, y otros en el interior del torso del robot, dan lugar a una serie de movimientos muy cercanos a lo real, los que en base al control adecuado de velocidad y desplazamiento evita el riesgo de forzar excesivamente la parte mecánica, además impide el excesivo consumo de energía, y se logra conservar la integridad de la máscara de silicona, la cual a pesar de no ser el elemento más importante del prototipo brinda el realismo necesario para que este llegue a expresar las emociones programadas.
  - ❖ En lo que se refiere a programación, el uso adecuado de interrupciones y subrutinas facilita la elaboración del código fuente y otorga una mejor organización del mismo, escenario que permite fácilmente detectar problemas en el sistema de control, y dirigirse únicamente a la parte de control que no representen un resultado satisfactorio, en lugar de revisar y cambiar todo el programa que controla el robot.
- 2) *Recomendaciones*
- ❖ Dada la poca información acerca del tipo de algoritmos de control aplicables en rostros robóticos que reaccionen ante estímulos ambientales externos se puede utilizar el control que más se adecuó al prototipo, por lo que se recomienda aplicar un sistema

de control difuso, ya que de esta manera se podrá mejorar el realismo en la interacción y obtener una emoción casi auténtica.

- ❖ Es recomendable que la fuente de alimentación del control sea independiente de la que alimenta a los servomotores, siendo importante que esta última no varíe el voltaje que entrega en caso de variar la carga, dado que si existe alguna variación en el voltaje se notará vibraciones indeseables en los servomotores, lo que además causaría distorsiones en el sistema de control, por lo cual se recomienda dimensionar una fuente DC tipo switching.
- ❖ Es imperativo recomendar que el diseño de un prototipo similar inicie desde un programa computacional en el cual se pueda especificar la estructura mecánica y el tipo de movimientos que pueda adquirir el robot, lo que facilita enormemente el proceso de construcción del mismo.

### III. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la colaboración prestada por la ilustre Escuela Politécnica Nacional, especialmente a la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, a sus autoridades y al Departamento de Automatización y Control por proporcionar el espacio y el equipo de laboratorio necesario para el correcto desarrollo de este prototipo.

### IV. REFERENCIAS

- [1] National Semiconductor Corporation, "Precision Centigrade Temperature Sensors", USA, 1994
- [2] Well Gain Electronics. (2011) "OEM CZN-15E -44dB CONDENSER MIC". [En línea]. Disponible en: <http://www.wellgainelectronics.com/oemczn-15e-44dbcondensermic.aspx>
- [3] Universidad Nacional de Rosario. (2010) "Niveles Sonoros". [En línea]. Disponible en: <http://www.fceia.unr.edu.ar/acustica/biblio/niveles.htm>
- [4] Superrobotica. (2010) "Sensor térmico TPA81". [En línea]. Disponible en: <http://www.superrobotica.com/S320085.htm>
- [5] Kaye T., Johnstone S., Johnson S. (2012, Febrero 14) "Robotic Human Lips using shape memory alloy wire actuators". [En línea]. Disponible en: [http://www.dur.ac.uk/ces/projects/robo\\_lips/](http://www.dur.ac.uk/ces/projects/robo_lips/)
- [6] MAXIM-Dallas Semiconductor, "Multichannel RS232 Driver/Receiver", 2003.
- [7] LINXMOTION. (2010, Junio 16) "Users Manual SSC-32 Ver 2.0". [En línea]. Disponible en: <http://www.lynxmotion.com>
- [8] MIT, "Kismet, the robot". [En línea]. Disponible en: <http://www.ai.mit.edu/projects/humanoid-robotics-group/kismet/kismet.html>
- [9] LIREC, "Expressing Emotions on Robotic Companions with Limited Facial Expression Capabilities", Politechnika Wroclawska, 2010.
- [10] CONDE R., "Mapeo facial de emociones sintéticas", 2006.

### V. BIOGRAFÍAS



Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Escuela Politécnica

Nacional.

Áreas de interés: Circuitos impresos (PCB), robótica, control industrial, microcontroladores.

(cesar\_astudillo1@ieee.org)



**Henry López**, nació en Riobamba el 9 de Febrero de 1989. Realizó sus estudios secundarios en la Unidad Educativa San Felipe Neri. Terminó la carrera de Ingeniería en Electrónica y Control en la Escuela Politécnica Nacional en mayo de 2011.

Áreas de interés: Robótica móvil, Microcontroladores, Automatización y Domótica.

(henrycualopez@hotmail.com)



**Nelson Sotomayor**, nació en Quito-Ecuador el 9 de Septiembre de 1971. Realizó sus estudios secundarios en el Instituto Nacional Mejía. Se graduó en la Escuela Politécnica Nacional como Ingeniero en Electrónica y Control en 1999. Obtuvo su título de Magíster en Ingeniería industrial en junio del 2006 en la Escuela Politécnica Nacional. En septiembre del 2008 como becario del Gobierno de México y la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA), participó en el IV Curso Internacional de Robótica Aplicada, en el Centro Nacional de Actualización Docente CNAD ubicado en México DF. Actualmente desempeña el cargo de Profesor Principal T/C en el Departamento de Automatización y Control Industrial de la Escuela Politécnica Nacional. Adicionalmente se desempeña como Jefe del departamento de Automatización y Control Industrial.

Áreas de interés: robótica móvil, informática y redes, microcontroladores, automatización y control industrial.

(nelson.sotomayor@epn.edu.ec)