

**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO**

**Implementación de Sistema Automático para ahuyentar**

**Aves mediante Ondas Sonoras.**

**Gabriel Andrade Pazmiño**

Tesis de grado presentada como requisito para la obtención del título de

Ingeniero Electrónico

Quito, Diciembre 2011

© Derechos de Autor

Gabriel Andrade Pazmiño

2011

### **AGRADECIMIENTOS**

A mis padres Diego y Montserrat. A Omar Aguirre mi director de tesis. A Lenín Vinueza y Andrés Ortega que me motivaron para hacer este tema. A Bernard Herrera, Diego Araujo y Nelson Herrera por su ayuda en este trabajo. A Diego Vaca compañero de carrera y de esta tesis. A todos mis profesores y compañeros del colegio politécnico. Al zoológico de Guayllabamba por la ayuda con el espacio para el estudio.

**Resumen:**

La Implementación de Sistema Automático para ahuyentar aves mediante ondas sonoras es un proyecto que utiliza la ingeniería electrónica para resolver problemas sociales como son el exceso de palomas en ciertas áreas, sin causar impacto en el medio ambiente.

Se monitoreo a palomas durante 5 semanas, las cuales fueron expuestas a diferentes sonidos y grabadas sus reacciones. Con los datos obtenidos se sacó conclusiones por medio de los métodos estadísticos chi cuadrado de Pearson y la prueba de hipótesis sobre una proporción. Por último se diseño una maqueta a escala de cómo sería el acoplamiento de este sistema, en este caso para su uso en aeropuertos.

**Abstract**

The Implementation of Automatic System to drive away birds by means of sound waves is a project that uses electronic engineering to solve social problems as they are the excess of doves in certain areas, without causing impact in environment. The doves were studied during 5 weeks, which were exposed to different sounds and recorded their reactions. With the collected data removed to conclusions by means of the statistical methods chi-square from Pearson and the test of hypothesis on a proportion. Finally design a scale model on scale of how it would be the connection of this system, in this case for its use in airports.

## LISTA DE CONTENIDOS

<b>Resumen.....</b>	<b>iii</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>iii</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	<b>4</b>
<b>3. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>6</b>
<b>3.1. X<sup>2</sup> de Pearson.....</b>	<b>6</b>
<b>3.2. Prueba de hipótesis sobre una proporción .....</b>	<b>8</b>
<b>3.3. Relé.....</b>	<b>9</b>
<b>3.4. Sensores.....</b>	<b>10</b>
<b>3.5. Teoría del sonido .....</b>	<b>12</b>
<b>3.6. Comportamiento Animal .....</b>	<b>14</b>
<b>4. EXPERIMENTOS REALIZADOS .....</b>	<b>16</b>
<b>4.1. Adecuación de la habitación del hábitat artificial .....</b>	<b>16</b>
<b>4.2. Creación de las pistas de audio .....</b>	<b>17</b>
<b>4.3. Monitoreo del comportamiento de las aves .....</b>	<b>17</b>
<b>5. ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS .....</b>	<b>19</b>
<b>6. SIMULACIÓN DEL SISTEMA .....</b>	<b>25</b>
<b>7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>26</b>
<b>8. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>28</b>
<b>9. ANEXOS .....</b>	<b>31</b>

**LISTA DE FIGURAS**

<b>1. FIGURA 1: GRÁFICO ONDA SINUSIODAL .....</b>	<b>13</b>
<b>2. FIGURA 2: GRÁFICO DE ONDA DE CONVERSACIÓN.....</b>	<b>14</b>
<b>3. FIGURA 3: ESQUEMA INSTALACIÓN DE LA HABITACIÓN .....</b>	<b>16</b>

**ANEXOS**

<b>1. ANEXO 1: DATA SHEET RELÉ .....</b>	<b>32</b>
<b>2. ANEXO 2: TABLA VALOR CRÍTICO CHI CUADRADO .....</b>	<b>34</b>
<b>3. ANEXO 3: TABLA VALOR CRÍTICO Z(HIPÓTESIS SOBRE PROPORCIÓN)</b>	<b>35</b>

## **1. Introducción:**

Las palomas (*Columba livia doméstica*) “presentan poblaciones de vida libre extremadamente numerosas en muchas ciudades del mundo, pudiendo alcanzar proporciones de plaga en algunos sectores” (Toro, 2000). Entre estos sectores se pueden considerar ciertos lugares en donde aparte de obtener alimentos para su subsistencia, también pueden adaptarlos como refugio para su convivencia, tal es el caso de plazas monumentales, iglesias y museos dentro de las ciudades. El daño principal que estos animales provocan aparte de su efecto en tejados y canaletas, como dice Toro es:

*“debido a la naturaleza de sus deposiciones, particularmente el ácido úrico, se aprecia un efecto corrosivo que acelera la destrucción de construcciones, maquinarias y monumentos. Son responsables de suciedad en terrazas, calles y parques.”*

Otro espacio afectado por la abundancia de estos animales, son los aeropuertos en donde anualmente causan millones de dólares en pérdidas, ya sea por daños mecánicos en las aeronaves o retrasos en los vuelos. Como citan Cleary y Dolbeer, las pérdidas anualmente en los aeropuertos de Estados Unidos, debido a fauna silvestre (aves, reptiles y venados), llega cerca de los 500 millones de dólares por daños directos y costos asociados, siendo un costo económico alto pero no más relevante que las pérdidas humanas causadas en accidentes debido a este problema.

**Alternativas de solución al problema:**

Varias ideas para manejar este tipo de plagas se han dado. A continuación citamos algunas de ellas:

- Adiestramiento de animales como perros, como experimentó Montserrat Pastoret en el aeropuerto Carriel sur de Talcahuano con perros adiestrados para su trabajo final de veterinaria (Pastoret, 2004), ó aves rapaces:

*“Por ejemplo, se vienen utilizando con éxito halcones entrenados como ahuyentadores de aves en aeropuertos (Dolbeer, 1998). También existen recientes experiencias de halcones entrenados para ahuyentar aves en zonas urbanas y cultivos como viñedos, montes frutales y plantas de procesamiento. (Sawyer, 2005, Freedman, 2004) Esta técnica parece tener resultados positivos, aunque los expertos destacan que su efectividad varía con las especies de aves y la situación del uso de la herramienta por lo que es imprescindible la prueba de su eficacia en el ámbito nacional.”(Rodríguez, Tiscornia).*

- Utilización de sustancias químicas como repelentes para aves. Su aplicación puede ser en forma de *“productos antipercha”* los cuales incomodan a las aves el momento que se posan sobre estos, causando la búsqueda de otro lugar cercano para reposar, el cual, si está cubierto por este producto causa la misma reacción ahuyentando al ave del sector. (Cleary,E. Dolbeer,R,2005).

Otra forma de usar sustancias químicas para repeler aves es por medio de digestión del animal:

*“El Avitrol está registrado para repeler palomas,... y gaviotas de los sitios de alimentación, anidación, percha y descanso. Las aves que comen cebos tratados con Avitrol, reaccionan con síntomas de dolor y emiten llamadas de peligro, comportamiento que asusta a otras aves de la parvada. Aún cuando está registrado como un “agente ahuyentador”, el Avitrol es letal para las aves, por lo que debe ser considerado como veneno.” (Cleary,E. Dolbeer,R. 2005)*

- La implementación de sonidos para asustar aves, los cuáles pueden ser grabaciones de llamadas de alarma, vocalizaciones de predadores, sonidos de gran intensidad como disparos, explosiones, sonidos metálicos, etc. (Tubaro, P. Luis. 1999)

Este método ha sido eficaz para espantar aves de estanques con residuos industriales para evitar el envenenamiento de éstas. Sonidos de chillidos, trinos hasta explosiones de escopetas son suficientes para ahuyentar las diversas especies que llegan a estos estanques. (Lee R. Martin. 1979)

## 2. Objetivos:

- El objetivo principal de esta tesis es el de construir un sistema de repulsión de palomas por medio de sonido. Método que se eligió por las siguientes razones:
  - A comparación de la alternativa usando sustancias químicas, el método con sonido no causa problemas de salud en el animal. El objetivo del proyecto es asustar, alejar al ave del lugar indicado sin causarle molestias o muerte.
  - A diferencia de las “sustancias antiperchas”, la instalación del sistema de sonido, tomando las debidas precauciones para que el equipo no sufra daños a causa de lluvias, vientos fuertes u otros factores, se la hace una sola vez. La “sustancia antiperchas” se la tiene que colocar cada cierto tiempo, y su efectividad disminuye notoriamente o es nula con la lluvia o polvo.
  - La opción de aprovechar la tecnología que día a día va evolucionando es una de las razones de usar este sistema. Sistema el cual da mayor confiabilidad que tratar con animales, los cuales por más entrenados que sean, el resultado con ellos no es totalmente confiable.
- Investigar el comportamiento del sistema auditivo de las palomas y el rango de éste para saber qué rango de frecuencias puede ser utilizado en ellas.
- Por medio de la aplicación diaria de señales auditivas en las palomas (durante un lapso de 5 semanas), comprobar cuáles son los sonidos más efectivos para espantarlas y crear una pista de audio con éstos.

- Demostrar si en verdad el método de ahuyentamiento a través de audio es realmente efectivo, de lo contrario explicar cuáles son las razones de su ineffectividad.
- Diseñar y realizar una representación a escala de cómo sería la implementación de este sistema para su utilización en aeropuertos.
- Demostrar la aplicación de la ingeniería electrónica para solucionar problemas en la sociedad y el avance de ésta.

### 3. Marco Teórico

#### 3.1. $X^2$ de Pearson:

La prueba de chi-cuadrado nos ayuda cuando el desconocimiento no se reduce al valor de un parámetro (Inferencia no paramétrica), como en el caso de este experimento en donde lo que se desea saber es si dos variables están relacionadas con la hipótesis planteada. (DE LA HORRA:2003)

Después de tener la tabla de datos, y la hipótesis planteada  $H_0$  y  $H_1$  (nula y alternativa) se calcula el valor  $X^2$  que es la relación entre los valores obtenidos y los valores esperados mediante la siguiente fórmula:

$$X^2_{calc} = \sum_{i=1}^k \frac{(O_i - e_i)^2}{e_i}$$

Los valores obtenidos son, como lo dice su nombre, los observados en el experimento. Los valores esperados se los calcula de la siguiente manera. Suponiendo que se tiene la siguiente tabla de datos:

	SI	NO	TOTAL
PRUEBA 1	$X_1$	$X_2$	Total (Prueba 1)
PRUEBA 2	$X_3$	$X_4$	Total (Prueba 2)
TOTAL	Total (SI)	Total (No)	TOTAL (SI NO P1 P2)

El valor esperado para  $X_1$  sería el siguiente:

$$e_1 = \frac{\text{Total (Prueba1)} * \text{Total (SI)}}{\text{TOTAL (SINOP1P2)}}$$

Para  $X_2$  sería:

$$e_2 = \frac{\text{Total (Prueba1)} * \text{Total (NO)}}{\text{TOTAL (SINOP1P2)}}$$

Para  $X_3$  sería:

$$e_3 = \frac{\text{Total (Prueba2)} * \text{Total (SI)}}{\text{TOTAL (SINOP1P2)}}$$

Para  $X_4$  sería:

$$e_4 = \frac{\text{Total (Prueba2)} * \text{Total (NO)}}{\text{TOTAL (SINOP1P2)}}$$

Una vez obtenido el chi-cuadrado se lo compara con el valor crítico correspondiente al grado de libertad de la tabla en la cual se está trabajando y el porcentaje de significancia, mediante la tabla de distribución  $X^2$  de Pearson la cual está anexada al trabajo.

El grado de libertad se calcula al multiplicar el valor de la filas menos 1 por el valor de las columnas menos 1.

Para este tipo de pruebas la hipótesis nula indica la independencia entre las variables a comparar y la hipótesis alternativa indica su dependencia.

### 3.2. Prueba de hipótesis sobre una proporción:

*“En muchos problemas de ingeniería, se tiene interés en una variable aleatoria que sigue una distribución binomial. Por ejemplo, considérese un proceso de producción que fabrica artículos que son clasificados como aceptables o defectuosos. Lo usual y más razonable es modelar la ocurrencia de artículos defectuosos con la distribución binomial, donde el parámetro binomial  $p$  representa la proporción de artículos defectuosos producidos. En consecuencia, muchos problemas de decisión en ingeniería incluyen una prueba de hipótesis con respecto a  $p$ .*

*Considérese la prueba*

$$H_0: p = p_0$$

$$H_1: p \neq p_0$$

*A continuación se proporciona una prueba basada en la aproximación normal de una distribución binomial. Este procedimiento aproximado es válido siempre y cuando  $p$  no sea muy próximo a cero o uno, y si el tamaño de la muestra es relativamente grande. Sea  $X$  el número de observaciones en una muestra aleatoria de tamaño  $n$  que pertenece a la clase asociada con  $p$ . Entonces, si la hipótesis nula  $H_0: p = p_0$  es*

verdadera se tiene que  $X \sim N(np_0, np_0(1-p_0))$ , aproximadamente. Para probar  $H_0: p = p_0$ , se calcula el estadístico de prueba

$$Z_0 = \frac{X - np_0}{\sqrt{np_0(1-p_0)}} \text{ y se rechaza } H_0: p =$$

$p_0$  si

$$z_0 > z_{\alpha/2} \text{ o } z_0 < -z_{\alpha/2}$$

Las regiones críticas para las hipótesis alternativas unilaterales se construyen de la manera usual.”(Montgomery, Runger:2001).

### 3.3. Relé:

Como define la página de internet Velásquez Ingenieros Asociados S.A.S:

“un relé es un dispositivo electromagnético, que funciona como interruptor controlado por un circuito eléctrico en el que, por medio de un electroimán, se acciona un juego de uno o varios contactos que permiten abrir o cerrar otros circuitos eléctricos independientes. Otra definición es la de aquel interruptor comandado a distancia, que vuelve a la posición de reposo cuando la fuerza de accionamiento deja de actuar sobre él. El mando a distancia presenta dos ventajas importantes: primero, la instalación puede efectuarse con una evidente economía, pues bastan dos hilos que unan la bobina del relé con el puesto de mando; segundo, aísla al operario de los puntos peligrosos de la instalación.”

Cuando el relé magnético de sobrecarga está desexcitado sus contactos fijos están en estado de reposo ya sea normalmente cerrados o normalmente abiertos. Al aplicar la corriente nominal o inferior a ésta, la presión del resorte es suficiente para impedir el movimiento de la armadura. Cuando la corriente pasa la corriente nominal se crea la fuerza magnetomotriz lo suficientemente fuerte para producir el movimiento de la armadura y el cambio de estado de los contactos.(I.L KOSOW. 1991)

### 3.4. Sensores:

Los sensores son dispositivos que sirven para activar algún tipo de mecanismo a partir de la emisión de una señal ya sea voltaje, corriente, frecuencia, impedancia, etc.

*“Esta señal eléctrica producida por el sensor debe ser procesada (amplificada, filtrada, etc) para ser útil para el sistema de control.*

*El transmisor es el encargado de la preparación de la señal para ser transmitida y usada por otros dispositivos.”(Sass:2008)*

De acuerdo a sus características se puede clasificar a los sensores por:

- *“Linealidad: La característica entrada/salida es lineal.*
- *Histéresis: La salida del sensor para una determinada entrada varía dependiendo de que la entrada esté aumentando o disminuyendo.*

- *Repetibilidad: Es la variabilidad de la salida ante la misma entrada.*
- *Resolución: Es el cambio más pequeño en la entrada que puede ser detectable a la salida.*
- *Sensibilidad: Un pequeño cambio en la entrada causa un pequeño cambio en la salida. Normalmente se cuantifica por la relación entre el cambio en la salida dividido por el cambio en la entrada.*
- *Ruido: Es el nivel de señal espuria en la salida que no corresponde a un cambio en la entrada.”(OLLERO A.2001)*

Hay varios tipos de sensores para detectar la presencia de un objeto, pueden ser:

- de salida binaria,
- sensores de contacto (botones, interruptores, etc),
- sensores inductivos,
- sensores de efecto hall,
- sensores capacitivos,
- sensores ultrasonidos,
- sensores infrarrojos
- sensores ópticos, etc.

El tipo de sensor utilizado para percibir el movimiento fue un sensor infrarrojo o también conocidos como sensores de proximidad. El funcionamiento básico de este sensor consiste en detectar la presencia

de un objeto por la reflexión de la luz en el objeto utilizando un emisor y receptor.

*“Se emplean diodos emisores de luz y fotodetectores tales como fotorresistores, fotodiodos o fototransistores. Los fotorresistores, o fotocélulas, son resistencias cuyo valor cambia con la intensidad de la luz recibida. Su empleo y conexión a microcontroladores es muy sencilla. Los fotodiodos tienen una mayor sensibilidad, y producen una señal lineal en un rango muy amplio de niveles de intensidad. Sin embargo, su salida necesita ser amplificada.”(OLLERO A. 2001)*

Este tipo de sensor no avisa a qué distancia está próximo el objeto, la respuesta es una señal binaria la que dice si existe o no un objeto próximo en un rango de distancia.

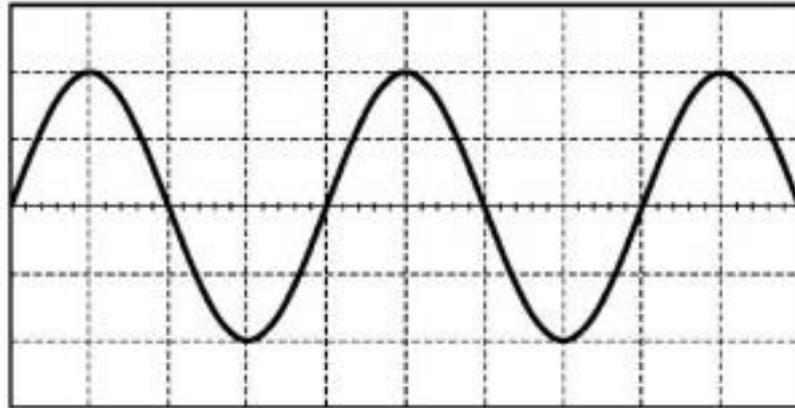
### **3.5. Teoría del sonido:**

El sonido proviene de vibraciones que crean disturbio en el aire a su alrededor. Este disturbio o agitación se difunde desde la fuente a todas las direcciones en forma de esferas, similares a las ondas que se forman en el agua de un estanque el rato que se arroja una piedra. El ir de las moléculas en el aire debido a la vibración de la fuente y el venir de las moléculas debido a la presión atmosférica de las moléculas alrededor, generan la onda u ondas longitudinales, que serían lo que se escucha, el sonido.(Thompson D:2005)

El tipo de sonido más simple es el de una onda sinusoidal, que es una señal periódica a la cual se la define:

$x(t) = A \cos(\omega t + \phi)$  donde  $A$  es la amplitud,  $\omega$  es la frecuencia en radianes por segundo y  $\phi$  es el ángulo de fase en radianes.(Haykin, Van Veen:2003)

A continuación el gráfico de una onda sinusoidal:



**Figura 1** gráfico sacado de <http://senoidal.wordpress.com/2010/08/12/35/>

Este tipo de onda se la puede crear usando un oscilador, que es un generador de ondas electrónico, que puede generar ondas continuas de diferentes tipos, ya sea sinusoidal, cuadrada, triangular, etc. Este tipo de ondas son usadas como señales de prueba y también la base de sistemas analógicos para generar sonidos sintetizados de varios tipos. El diapasón es un instrumento capaz de generar una onda sinusoidal al rato de golpearlo.(Thompson D:2005)

Se dice que es periódica este tipo de ondas ya que se repite igual la onda después de cumplir cada ciclo. La frecuencia de la onda es la medida al calcular el número de ciclos que la onda completa en 1s, esta medida por lo general se mide en hertz (Hz). El rango auditivo del humano esta entre 20Hz y 20 kHz, rango que varía dependiendo de la edad, tipo de exposición al sonido, genética y otro factores. La longitud de onda se mide dividiendo la velocidad de sonido para la frecuencia de la onda. Un sonido

agudo o chillón vendría a ser un sonido con frecuencia alta (longitud de onda corta), lo contrario de un sonido bajo o grave que vendría a ser un sonido con baja frecuencia (mayor longitud de onda). Más o menos para hacerse una idea, el bombo de una batería suena alrededor de 60Hz y el platillo o címbalo está alrededor de los 16kHz.(Thompson D.:2005)

Según Fourier todo sonido puede ser sintetizado en sumas de varias ondas sinusoidales.

A continuación la gráfica de onda de una persona hablando:

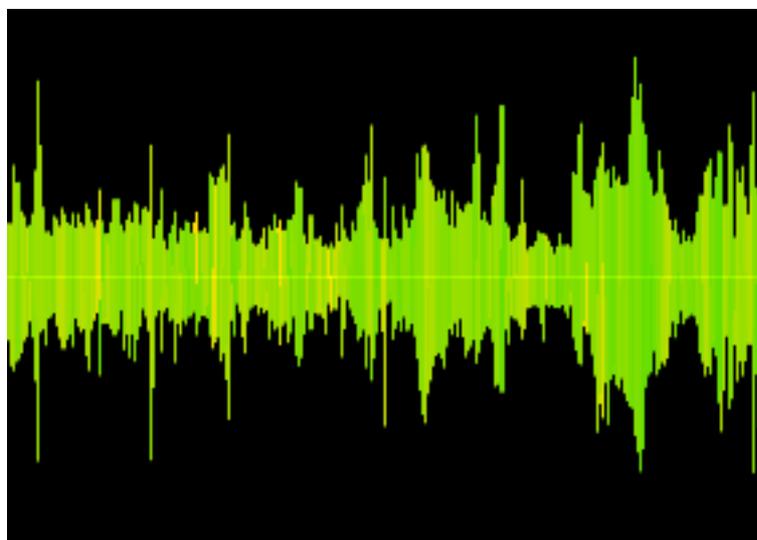


Figura 2 sacado de <http://freesound.org/>

### 3.6. Comportamiento animal

Antes de Charles Darwin existía muy poco estudio sobre el comportamiento de los animales, se podría hasta llegar a decir que fue él con sus múltiples estudios y libros como "*La Evolución de las Especies*" el pionero de la fisiología. En 1800, fisiólogos rusos comienzan a estudiar el comportamiento animal mediante métodos más científicos como el de reacción a estímulos. (Thorpe:1963)

Las palomas pertenecen al orden *Columbiforme*, las cuales además de encontrarse en todo el mundo, están consideradas entre los primeros animales en ser domesticados. Éste es un tipo de ave particularmente agresiva, especialmente durante su ciclo reproductivo. No tienen reparo de matar a los de su propia especie. En caso de tenerlas en cautiverio siempre asegurarse de que tengan una escapatoria o lugar de refugio por si acaso se topen con un macho agresivo. (Harrison, Harrison y Ritchie:1997) Tienen gran sentido de orientación y capacidad de aprendizaje:

*“Gracias a un minucioso adiestramiento, las palomas aprendieron a seguir siluetas de buques y a reaccionar ante imágenes de vuelo del misil. Las palomas obtuvieron brillantes resultado.”(Smith:1994)*

Las palomas se comunican a través de sonidos, los cuales sirven para transmitir información entre ellas para decir que hallaron alimento, o también que están en peligro y hay depredadores cerca.(BENITEZ NAVARRO:1995)

Su rango auditivo tiene un rango desde los 200Hz hasta los 7500Hz según los experimentos realizados por Brand A.R. y Kellog P.P. Por otro lado George Heise en su experimento concluyó que las palomas sienten las frecuencias bajas de manera similar a los humanos y alcanzan hasta 4000Hz en frecuencias altas.

#### 4. Experimentos realizados:

##### 4.1. Adecuación de la habitación del hábitat artificial:

Luego de analizar las opciones que se tenía para realizar el experimento se decidió llevarlo a cabo en las instalaciones de cuarentena del Zoológico de Guayllabamba.

El espacio que se tuvo fue el de una jaula de 2,5m de ancho, 3,5m de largo y 2m de alto. Aquí se adecuó con troncos el interior de la jaula para que las palomas tengan espacios para reposar, se puso un plato de comida y otro para el agua. Se instaló en las proximidades del lugar de comida, dos parlantes y una cámara de video para el monitoreo del experimento (figura 3). Además en las partes de la jaula que tenían reja, se colgó paneles de fibra de vidrio cubiertos con cajas de huevos para apaciguar el sonido afuera de la jaula y así evitar molestias a otros animales de la cuarentena.



FIGURA 3 Esquema de la instalación.

#### **4.2. Creación de las pistas de audio:**

La principal propuesta de este estudio fue el de encontrar una frecuencia que sea perturbadora para las palomas. A través del software Matlab se generó un tono puro (onda sinusoidal) al cual se le iba modificando la frecuencia, por lo general dentro del rango auditivo del ave. Se hicieron también pruebas con frecuencias más bajas y más altas a este rango con el propósito de observar si escuchaban algo.

Los primeros monitoreos se los hizo con un solo tono y luego se hicieron con dos tonos a la vez. También se utilizaron sonidos bulliciosos como el de ladrido de perros, disparos, sonidos metálicos y el de aves rapaces como halcones o águilas. La mayoría de sonidos fueron bajados a través de la página de internet [www.freesound.org](http://www.freesound.org).

#### **4.3. Monitoreo del comportamiento de las aves:**

Fueron cinco semanas la duración del monitoreo de las cuatro aves. Asistíamos de lunes a sábado a las instalaciones de cuarentena del zoológico, por lo general de 10 y 30 de la mañana a 3 de la tarde. Se hacían pruebas con el audio cada lapso de 5 a 10 minutos, en los cuales se tapaba la comida para que el rato de hacer la siguiente prueba las aves se acerquen a los parlantes. Cada prueba que se hacía se la grababa simultáneamente con la cámara que estaba conectada a la computadora. Todo el registro de datos se monitoreaba a través de la misma cámara,

así las palomas no podían tener visualización de nosotros. Al final de la jornada, se limpiaba la jaula, cambiaba el agua, y se ponía un poco de comida para que al siguiente día las aves estén hambrientas y así poder seguir monitoreando.

## 5. Análisis de Resultados Obtenidos:

En condiciones normales las palomas buscan el alimento de forma permanente y su reacción normal es ir hacia él. Por otro lado, en condiciones experimentales se produce un comportamiento aproximado en el que progresivamente y a medida que van adaptándose al menos 7 de cada 10 (70%), se acerca a la fuente de comida.

Si en el momento de la exposición se emite un sonido con una frecuencia determinada, se esperaría que las palomas capten la emisión y se alejen de la fuente de alimento, por la incomodidad que pueda producir una frecuencia.

### Planteamiento de la hipótesis

**H0:** La emisión de un sonido con una frecuencia determinada por sí solo NO produce ningún tipo de estímulo o reacción en las palomas frente al alimento.

**H1:** Un sonido con una frecuencia determinada por sí solo, produce un estímulo.

A partir de estas hipótesis se pretende establecer si la variable “alejamiento del alimento” está ligada a la variable “emisión de un estímulo sonoro de frecuencia determinada”, a partir de un rango de frecuencias que van de 200Hz a 7500Hz:

A: Una sola onda sinusoidal.

B: Dos ondas emitidas simultáneamente.

C: Sonidos de aves rapaces, disparos, ladridos, etc.

Los valores obtenidos son analizados por medio de una prueba no paramétrica, en este caso chi2 ( $X^2$ ).

Los resultados obtenidos se presentan de la siguiente forma.

GRUPO	RES		Total
	0	1	
a	35	21	56
b	130	44	174
c	11	21	32
Total	176	86	262

Tabla Esperada

	0	1
a	37,61	18,38
b	116,89	57,11
c	21,5	10,5

Tabla Obtenida

	0	1
a	35	21
b	130	44
c	11	21

$$X^2_{calc} = \sum_{i=1}^k \frac{(O_i - e_i)^2}{e_i}$$

Pearson  $\chi^2 = 20.66$

Como  $20,66 > \chi^2_{0,05;2}$  se rechaza la hipótesis nula y por lo tanto se puede afirmar que existe una dependencia entre el sonido y la reacción de la paloma frente a ese sonido .

Entre los 3 grupos se presenta una diferencia significativa debido a la influencia de los valores del experimento del tipo **b**.

De la misma forma, cuando se comparan a y c los animales presentan un comportamiento estadísticamente significativo.

GRUPO	RES		Total
	0	1	
a	35	21	56
c	11	21	32
Total	46	42	86

Tabla esperada

	0	1
a	29,95	27,35
c	17,12	15,63

Tabla Obtenida

	0	1
A	35	21
C	11	21

$$X^2_{calc} = \sum_{i=1}^k \frac{(O_i - e_i)^2}{e_i}$$

Pearson  $\chi^2 = 6,35$

$6,35 > \chi^2_{0,05;2}$  se rechaza la hipótesis nula al igual que el estudio de  $\chi^2$  de los tres tipos de pruebas realizadas.

Teniendo en cuenta la dependencia entre las dos variables, se realiza pruebas a cada tipo de emisión de sonido (A B y C) mediante inferencia sobre una proporción de una población. Considerando el parámetro del comportamiento en cautiverio del 70% de aproximación al alimento del grupo de aves, se plantea la hipótesis  $H_0$  que el 70% de las palomas reaccionan positivamente (se alejan del alimento) al emitirles un sonido.

$$H_0: p = p_0 = 70\%$$

$$H_1: p < p_0$$

A: Una sola onda sinusoidal.

	resp			Total
	grupo			
	0	1		
-----+			+	-----
	obs			
	35	21		56
-----+			+	-----

Se calcula a continuación el estadístico de prueba

$$Z_0 = \frac{X - np_0}{\sqrt{np_0(1-p_0)}}$$

$$Z_0 = \frac{21 - 56(0.7)}{\sqrt{56(0.7)(1-0.7)}} = -5.31$$

$Z_{0.05}=1.645$  es el valor crítico con un margen de error de un 5%, el cual se obtiene de la tabla anexada al trabajo para  $z$ .

Como valor absoluto de  $Z$  calculado es mayor al  $Z_{0.05}$  se rechaza la hipótesis que un 70% de las palomas reaccionan positivamente al emitir sonido.

#### B: Dos ondas sinusoidales emitidas simultáneamente:

	resp		
grupo	0	1	Total
obs	130	44	174

Se calcula a continuación el estadístico de prueba

$$Z_0 = \frac{X - np_0}{\sqrt{np_0(1-p_0)}}$$

$$Z_0 = \frac{44 - 174(0.7)}{\sqrt{174(0.7)(1-0.7)}} = -12.88$$

$$Z_{0.05}=1.645$$

La hipótesis se rechaza al igual que en A.

#### C: Sonidos.

	resp		
grupo	0	1	Total

-----+-----+-----  
 obs |            11            21 |            32

Se calcula a continuación el estadístico de prueba

$$Z_0 = \frac{X - np_0}{\sqrt{np_0(1 - p_0)}}$$

$$Z_0 = \frac{21 - 32(0.7)}{\sqrt{32(0.7)(1 - 0.7)}} = -0.54$$

$$Z_{0.05} = 1.645$$

En este caso la hipótesis no se rechaza ya que el valor absoluto de  $Z_0$  es menor al de  $Z_{0.05}$ , valor crítico, obteniendo resultados positivos en este tipo de prueba.

En los experimentos A y B se rechaza la hipótesis que un 70% o más de las palomas se ahuyentan al ser expuestas a sonido sinusoidal, pero hay que tener en cuenta que existen frecuencias específicas las cuales les causa molestia, las cuales se obtuvieron por medio de la observación de la reacción del ave al ser emitidas estas frecuencias. A continuación el listado de esas frecuencias:

- 300Hz
- 340Hz
- 200 y 610Hz
- 90 y 650Hz
- 100 y 890Hz

## 6. Simulación del Sistema:

Para la simulación del sistema se decidió construir una maqueta a escala representando al aeropuerto como área con problemas de palomas. Se utilizó un tablero en la que se dibujó la pista aérea, a la cual se incorporó el circuito repulsor. El circuito consta de:

- Relé
- Sensor de movimiento
- Parlante
- Fuente de las pistas de audio (ordenador en este caso)

Se simula al ave ya sea con un títere o con la mano, el rato que el sensor de movimiento siente la presencia de un objeto cercano, se activa y envía una señal al relé que para esta simulación su estado es normalmente abierto. Al momento de recibir el estímulo eléctrico emitido por el sensor, éste cambia de estado permitiendo la conexión entre los parlantes y la fuente de audio. El tiempo de conexión es ajustable en el sensor de movimiento, siendo el mínimo de 5 segundos y el máximo de 8 minutos. La fuente de audio tendrá como librería de sonidos todos aquellos que tuvieron un resultado positivo en el monitoreo, reproducidos de una manera aleatoria, para que así le sea difícil al ave acostumbrarse al sonido repulsor.

## 7. Conclusiones y Recomendaciones:

- Las palomas tienen la capacidad de acostumbrarse a sonidos que al principio pueden causar ahuyentamiento pero luego no tienen reacción alguna sobre el animal.
- A partir de los valores obtenidos mediante el procedimiento de  $\chi^2$  de Pearson, se puede afirmar que existe una dependencia entre el sonido y la reacción de las palomas frente a la comida.
- Al realizar las pruebas de inferencia sobre una proporción de una población se pudo concluir que los experimentos con ondas sinusoidales ya sea con una o dos simultáneamente no causan efecto en el alejamiento animal como cuando se utiliza sonidos como aves rapaces, ladridos de perros, disparos.
- Con parlantes de mayor calidad y nitidez en el sonido se puede hacer un estudio con mayor eficacia que el estudio utilizando parlantes de computadora de baja calidad.
- Sonido que no se pudo obtener pero se cree que sería bastante útil es el de una paloma comunicando la presencia de una amenaza en el área.
- Se recomienda utilizar un espacio al aire libre, cercado por malla metálica y tela en la parte de arriba, de mayores dimensiones que el utilizado para poder capturar una reacción de mayor magnitud.
- Respetar las horas de monitoreo, ya que factores como la temperatura u hora del día pueden afectar a los resultados. Se notaba que ya en la tarde las palomas estaban menos activas que a las horas que se comenzaba el monitoreo.

- El constante ruido de los monos, tucanes, guacamayos en jaulas en la cercanía de donde se encontraban las palomas puede haber afectado al monitoreo de éstas.
- Hay que tomar en cuenta que este experimento se realizó específicamente para el tipo de ave *Columba livia* doméstica, y que si se quiere aplicar para otra especie se deberá estudiar principalmente el rango auditivo de esa especie, y realizar nuevas pruebas de audio.

## 8. Bibliografía:

- Toro Haraldo. "Palomas: Historia, presencia en Chile y riesgos asociados". Agosto, 2000. Sacado de [http://www.tecnovet.uchile.cl/CDA/tecnovet\\_articulo/0,1409,SCID%253D11537%2526ISID%253D463,00.html](http://www.tecnovet.uchile.cl/CDA/tecnovet_articulo/0,1409,SCID%253D11537%2526ISID%253D463,00.html) el 24 de Mayo de 2011.
- Cleary E. y Dolbeer R. Trad. Ramírez, Patricia. "Manejo del riesgo por fauna silvestre en aeropuertos". Pág#1, 139, 141. Universidad de Nebraska, 2005. Sacado de <http://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1004&context=birdstrikeoother> el 24 de mayo de 2011.
- Pastoret M. "Evaluación de perros adiestrados y de métodos de dispersión tradicionales para el control del peligro aviario en el aeropuerto Carriel sur de Talcahuano". Universidad de Concepción. Fac. de Medicina Veterinaria 2004. Sacado de <http://orton.catie.ac.cr/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=BIBACL.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mf=032597> el 24 de Mayo de 2011.
- De la Horra Navarro J. "Estadística Aplicada". Capítulo # 11. DÍAZ DE SANTOS: Madrid 2003.
- Montgomery D y Runger G. "Probabilidad y estadística aplicadas a la ingeniería."Capítulo # 8. Pág 436-437. MC GRAW HILL:Mexico 2001.
- Sass Laurent. "Sensores". Diapositivas de automatismos industriales 2008. Sacado de [http://profesores.usfq.edu.ec/laurents/IEE561/IEE561\\_Sensores2.pdf](http://profesores.usfq.edu.ec/laurents/IEE561/IEE561_Sensores2.pdf) el 28 de noviembre de 2011.

- Rodríguez E. y Tiscornia G. “Evaluación de la cetrería como método de repelencia de aves en parcelas de girasol”. Sacado de <http://www.mgap.gub.uy/dgssaa/DivAnalisisDiagnostico/documentosD AYD/cetreria informe final.pdf> el 24 de mayo de 2011.
- Tubaro P. Luis. “Bioacústica aplicada a las sistemática, conservación y manejo de poblaciones naturales de aves”. Bueno Aires: 1999. Sacado de <http://webs.uvigo.es/c04/etologia/pdfs/Etologia vol.7 pp.19-32.pdf> el 01 de Junio de 2011.
- Lee R. Martin. “Effective use of sound to repel birds from industrial waste ponds”. Pág # 71. Universidad de Nebraska: 1979. Sacado de <http://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1010&context=icwdmbirdcontrol> el 8 de Junio de 2011.
- Brand A.R. y Kellog P.P. “Auditory Responses of Starlings, English Sparrows, and Domestic Pigeons”. The Wilson Bulletin Vol. 51. No.1. 1939. Sacado de <http://www.jstor.org/stable/4156799?seq=3> el 04 de Abril de 2011.
- Kosow I.L. Trad. Bolet Quer J.J. “Control de máquinas eléctricas”. Pág. # 7. REVERTÉ: México 1991.
- Ollero Baturone A. “ROBÓTICA Manipuladores y robots móviles”. Capítulo # 7 SENSORES. MARCOMBO,S.A: Barcelona (España) 2001.
- VELASQUEZ. “Los relés electromagnéticos”. Sacado de <http://www.velasquez.com.co/aplicaciones/AN Reles electromagneticos .pdf> el 29 de Septiembre del 2011.
- Benítez H. Navarro A. “EL DOMINIO DEL AIRE”. Pág 137-143. La Ciencia: México D.F. 1995.

- Thompson D. "Understanding Audio". Capítulo 5. BERKLEE PRESS: Estados Unidos. 2005
- Heise George A. "Auditory thresholds in the pigeon". THE AMERICAN JOURNAL OF PSYCHOLOGY Vol. 66. No.1. 1953. Sacado de <http://www.jstor.org/stable/1417964> el 6 de Octubre del 2011.
- Thorpe W.H. Editado McGill Thomas. "Ethology as a New Branch of Biology". READINGS IN ANIMAL BEHAVIOR NO 3. Estados Unidos:1963
- Matthews G.V.T. Editado McGill Thomas. "The Orientation of Pigeons as Affected by the Learning of Landmarks and by the Distance Displacement". READINGS IN ANIMAL BEHAVIOR NO 35. Estados Unidos 1963.
- Harrison G. Harrison L. Rithcie B. "Avian Medicine. Principles and application". Capítulo 44. Wingers Publishing: Estados Unidos 1997.
- Haykin S. Van Veen B. "Señales y Sistemas". Capítulo #1. LIMUSA WILEY:México 2003.
- Smith M.L. "B.F. SKINNER". Perspectivas: revista trimestral de educación comparada (París, UNESCO: Oficina Internacional de Educación), vol XXIV, nº 3-4,1994. Sacado de [http://www.ibe.unesco.org/fileadmin/user\\_upload/archive/publications/ThinkersPdf/skinners.pdf](http://www.ibe.unesco.org/fileadmin/user_upload/archive/publications/ThinkersPdf/skinners.pdf) el 11 de Octubre del 2011.
- Devore J. "Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias". INTERNATIONAL THOMSON EDITORES: MÉXICO 1998.

**9. Anexos:**

Tablas sacadas de (Devore:1998).

Datasheet de relé sacada de <http://products.schneider-electric.us/products-services/product-detail/?event=productDetail&countryCode=us&partNumber=RUMC2AB1F7>

## Product Data Sheet

# RUMC2AB1F7

## PLUG-IN RELAY 240V 10A RUMC +OPTIONS



List Price \$10.10 USD

Availability **Stock Item: This item is normally stocked in our distribution facility.**

### Technical Characteristics

Description (Individual)	Octal Relays, 8 Pin / DPDT, 16 Amp Rating
Contact Arrangement	DPDT
Contact Rating (NEMA)	B300
Relay Type	Universal
Electrical Connection	Cylindrical/Tubular
Mounting Style	Plug-In Socket
Contact Configuration	2 NO/2 NC
Contact Materials	Silver Alloy (AgNi)
Coil Voltage	120 VAC
Average Consumption	3 VA
Coil Resistance	1700 Ohms
Rated Operational Current (IEC)	10A (NO) - 5A (NC)
Drop-out Voltage Threshold	0.15 Uc
Rated Operational Current (UL)	16A
Switching Capacity (Minimum)	10mA@17V
Horsepower Rating	0.34HP@120VAC
Conventional Thermal Current	10A
Maximum Switching Voltage	250V
Rated Insulation Voltage	300V (UL & CSA) - 250V (IEC)
Nominal Load (Resistive)	10A@250VAC - 10A@28VDC
Mechanical Durability	5 million operating cycles
Switching Capacity (Maximum)	2500 VA
Operating Time (Response Time)	(NO) AC: 20ms DC: 20ms (NC) AC: 20ms DC: 20ms
Electrical Durability (Resistive Load)	0.1 million operating cycles
Certifications	UL Listed - CSA Certified - CE Marked - RoHS Compliant
Rated Impulse Withstand Voltage	3.6 kV
Weight	0.186 lbs (0.084kg)
Type	RUM
Lockable Test Button	Yes
LED Indicator	No
Specifications	Sold in lots of 10
Dielectric Strength - Between Coil and Contact	1550 VAC
Ambient Air Temperature (Operation)	-40 to 131°F (-40 to 55°C)
Dielectric Strength - Between Poles	1550 VAC

Generated: 12/02/2011 01:35:40

Shock Resistance	10g (opening) 10g (closing)
Maximum Operating Rate (Under Load)	3600 operating cycles/hour
Dielectric Strength - Between Contacts	1500 VAC
Degree of Protection	IP 40 conforming to IEC/EN 60529
Maximum Operating Rate (No Load)	36000 operating cycles/hour
Ambient Air Temperature (Storage)	-40 to 185°F (-40 to 85°C)

### Shipping and Ordering

Category	21127 -
Discount Schedule	CP2
GTIN	00785901707974
Package Quantity	10
Weight	0.19 lbs.
Availability Code	Stock Item: This item is normally stocked in our distribution facility.
Returnability	Y
Country of Origin	CN

As standards, specifications, and designs change from time to time, please ask for confirmation of the information given in this document.

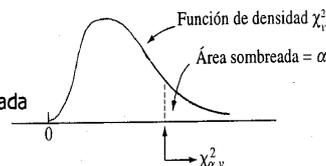


Tabla A.6 Valores críticos  $\chi^2_{\alpha, v}$  para la distribución ji cuadrada

v	$\alpha$									
	.995	.99	.975	.95	.90	.10	.05	.025	.01	.005
1	0.000	0.000	0.001	0.004	0.016	2.706	3.843	5.025	6.637	7.882
2	0.010	0.020	0.051	0.103	0.211	4.605	5.992	7.378	9.210	10.597
3	0.072	0.115	0.216	0.352	0.584	6.251	7.815	9.348	11.344	12.837
4	0.207	0.297	0.484	0.711	1.064	7.779	9.488	11.143	13.277	14.860
5	0.412	0.554	0.831	1.145	1.610	9.236	11.070	12.832	15.085	16.748
6	0.676	0.872	1.237	1.635	2.204	10.645	12.592	14.440	16.812	18.548
7	0.989	1.239	1.690	2.167	2.833	12.017	14.067	16.012	18.474	20.276
8	1.344	1.646	2.180	2.733	3.490	13.362	15.507	17.534	20.090	21.954
9	1.735	2.088	2.700	3.325	4.168	14.684	16.919	19.022	21.665	23.587
10	2.156	2.558	3.247	3.940	4.865	15.987	18.307	20.483	23.209	25.188
11	2.603	3.053	3.816	4.575	5.578	17.275	19.675	21.920	24.724	26.755
12	3.074	3.571	4.404	5.226	6.304	18.549	21.026	23.337	26.217	28.300
13	3.565	4.107	5.009	5.892	7.041	19.812	22.362	24.735	27.687	29.817
14	4.075	4.660	5.629	6.571	7.790	21.064	23.685	26.119	29.141	31.319
15	4.600	5.229	6.262	7.261	8.547	22.307	24.996	27.488	30.577	32.799
16	5.142	5.812	6.908	7.962	9.312	23.542	26.296	28.845	32.000	34.267
17	5.697	6.407	7.564	8.682	10.085	24.769	27.587	30.190	33.408	35.716
18	6.265	7.015	8.231	9.390	10.865	25.989	28.869	31.526	34.805	37.156
19	6.843	7.632	8.906	10.117	11.651	27.203	30.143	32.852	36.190	38.580
20	7.434	8.260	9.591	10.851	12.443	28.412	31.410	34.170	37.566	39.997
21	8.033	8.897	10.283	11.591	13.240	29.615	32.670	35.478	38.930	41.399
22	8.643	9.542	10.982	12.338	14.042	30.813	33.924	36.781	40.289	42.796
23	9.260	10.195	11.688	13.090	14.848	32.007	35.172	38.075	41.637	44.179
24	9.886	10.856	12.401	13.848	15.659	33.196	36.415	39.364	42.980	45.558
25	10.519	11.523	13.120	14.611	16.473	34.381	37.652	40.646	44.313	46.925
26	11.160	12.198	13.844	15.379	17.292	35.563	38.885	41.923	45.642	48.290
27	11.807	12.878	14.573	16.151	18.114	36.741	40.113	43.194	46.962	49.642
28	12.461	13.565	15.308	16.928	18.939	37.916	41.337	44.461	48.278	50.993
29	13.120	14.256	16.147	17.708	19.768	39.087	42.557	45.722	49.586	52.333
30	13.787	14.954	16.991	18.493	20.599	40.256	43.773	46.979	50.892	53.672
31	14.457	15.655	17.838	19.280	21.433	41.422	44.985	48.231	52.190	55.000
32	15.134	16.362	18.691	20.072	22.271	42.585	46.194	49.480	53.486	56.328
33	15.814	17.073	19.546	20.866	23.110	43.745	47.400	50.724	54.774	57.646
34	16.501	17.789	19.806	21.664	23.952	44.903	48.602	51.966	56.061	58.964
35	17.191	18.508	20.569	22.465	24.796	46.059	49.802	53.203	57.340	60.272
36	17.887	19.233	21.336	23.269	25.643	47.212	50.998	54.437	58.619	61.581
37	18.584	19.960	22.105	24.075	26.492	48.363	52.192	55.667	59.891	62.880
38	19.289	20.691	22.878	24.884	27.343	49.513	53.384	56.896	61.162	64.181
39	19.994	21.425	23.654	25.695	28.196	50.660	54.572	58.119	62.426	65.473
40	20.706	22.164	24.433	26.509	29.050	51.805	55.758	59.342	63.691	66.766

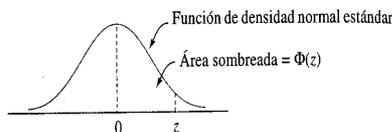
Para  $v > 40$ ,  $\chi^2_{\alpha, v} \approx v \left( 1 - \frac{2}{9v} + z_{\alpha} \sqrt{\frac{2}{9v}} \right)^3$

FUENTE: Esta tabla se reproduce con el amable permiso de miembros del directorio de Biometrika de E. S. Pearson y H. O. Hartley (eds.), *The Biometrika Tables for Statisticians*, vol. 1, 3a ed., Biometrika, 1966.

Tabla A.6 Valores críticos  $\chi^2_{\alpha, v}$  para la distribución ji cuadrada

Tabla A.3 Áreas de curva normal estándar

$\Phi(z) = P(Z \leq z)$



z	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
-3.4	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0002
-3.3	0.0005	0.0005	0.0005	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0004	0.0003
-3.2	0.0007	0.0007	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0005	0.0005	0.0005
-3.1	0.0010	0.0009	0.0009	0.0009	0.0008	0.0008	0.0008	0.0008	0.0007	0.0007
-3.0	0.0013	0.0013	0.0013	0.0012	0.0012	0.0011	0.0011	0.0011	0.0010	0.0010
-2.9	0.0019	0.0018	0.0017	0.0017	0.0016	0.0016	0.0015	0.0015	0.0014	0.0014
-2.8	0.0026	0.0025	0.0024	0.0023	0.0023	0.0022	0.0021	0.0021	0.0020	0.0019
-2.7	0.0035	0.0034	0.0033	0.0032	0.0031	0.0030	0.0029	0.0028	0.0027	0.0026
-2.6	0.0047	0.0045	0.0044	0.0043	0.0041	0.0040	0.0039	0.0038	0.0037	0.0036
-2.5	0.0062	0.0060	0.0059	0.0057	0.0055	0.0054	0.0052	0.0051	0.0049	0.0048
-2.4	0.0082	0.0080	0.0078	0.0075	0.0073	0.0071	0.0069	0.0068	0.0066	0.0064
-2.3	0.0107	0.0104	0.0102	0.0099	0.0096	0.0094	0.0091	0.0089	0.0087	0.0084
-2.2	0.0139	0.0136	0.0132	0.0129	0.0125	0.0122	0.0119	0.0116	0.0113	0.0110
-2.1	0.0179	0.0174	0.0170	0.0166	0.0162	0.0158	0.0154	0.0150	0.0146	0.0143
-2.0	0.0228	0.0222	0.0217	0.0212	0.0207	0.0202	0.0197	0.0192	0.0188	0.0183
-1.9	0.0287	0.0281	0.0274	0.0268	0.0262	0.0256	0.0250	0.0244	0.0239	0.0233
-1.8	0.0359	0.0352	0.0344	0.0336	0.0329	0.0322	0.0314	0.0307	0.0301	0.0294
-1.7	0.0446	0.0436	0.0427	0.0418	0.0409	0.0401	0.0392	0.0384	0.0375	0.0367
-1.6	0.0548	0.0537	0.0526	0.0516	0.0505	0.0495	0.0485	0.0475	0.0465	0.0455
-1.5	0.0668	0.0655	0.0643	0.0630	0.0618	0.0606	0.0594	0.0582	0.0571	0.0559
-1.4	0.0808	0.0793	0.0778	0.0764	0.0749	0.0735	0.0722	0.0708	0.0694	0.0681
-1.3	0.0968	0.0951	0.0934	0.0918	0.0901	0.0885	0.0869	0.0853	0.0838	0.0823
-1.2	0.1151	0.1131	0.1112	0.1093	0.1075	0.1056	0.1038	0.1020	0.1003	0.0985
-1.1	0.1357	0.1335	0.1314	0.1292	0.1271	0.1251	0.1230	0.1210	0.1190	0.1170
-1.0	0.1587	0.1562	0.1539	0.1515	0.1492	0.1469	0.1446	0.1423	0.1401	0.1379
-0.9	0.1841	0.1814	0.1788	0.1762	0.1736	0.1711	0.1685	0.1660	0.1635	0.1611
-0.8	0.2119	0.2090	0.2061	0.2033	0.2005	0.1977	0.1949	0.1922	0.1894	0.1867
-0.7	0.2420	0.2389	0.2358	0.2327	0.2296	0.2266	0.2236	0.2206	0.2177	0.2148
-0.6	0.2743	0.2709	0.2676	0.2643	0.2611	0.2578	0.2546	0.2514	0.2483	0.2451
-0.5	0.3085	0.3050	0.3015	0.2981	0.2946	0.2912	0.2877	0.2843	0.2810	0.2776
-0.4	0.3446	0.3409	0.3372	0.3336	0.3300	0.3264	0.3228	0.3192	0.3156	0.3121
-0.3	0.3821	0.3783	0.3745	0.3707	0.3669	0.3632	0.3594	0.3557	0.3520	0.3483
-0.2	0.4207	0.4168	0.4129	0.4090	0.4052	0.4013	0.3974	0.3936	0.3897	0.3859
-0.1	0.4602	0.4562	0.4522	0.4483	0.4443	0.4404	0.4364	0.4325	0.4286	0.4247
-0.0	0.5000	0.4960	0.4920	0.4880	0.4840	0.4801	0.4761	0.4721	0.4681	0.4641

Tabla A.3 Áreas de la curva normal estándar (cont.)

$$\Phi(z) = P(Z \leq z)$$

z	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	0.5000	0.5040	0.5080	0.5120	0.5160	0.5199	0.5239	0.5279	0.5319	0.5359
0.1	0.5398	0.5438	0.5478	0.5517	0.5557	0.5596	0.5636	0.5675	0.5714	0.5753
0.2	0.5793	0.5832	0.5871	0.5910	0.5948	0.5987	0.6026	0.6064	0.6103	0.6141
0.3	0.6179	0.6217	0.6255	0.6293	0.6331	0.6368	0.6406	0.6443	0.6480	0.6517
0.4	0.6554	0.6591	0.6628	0.6664	0.6700	0.6736	0.6772	0.6808	0.6844	0.6879
0.5	0.6915	0.6950	0.6985	0.7019	0.7054	0.7088	0.7123	0.7157	0.7190	0.7224
0.6	0.7257	0.7291	0.7324	0.7357	0.7389	0.7422	0.7454	0.7486	0.7517	0.7549
0.7	0.7580	0.7611	0.7642	0.7673	0.7704	0.7734	0.7764	0.7794	0.7823	0.7852
0.8	0.7881	0.7910	0.7939	0.7967	0.7995	0.8023	0.8051	0.8078	0.8106	0.8133
0.9	0.8159	0.8186	0.8212	0.8238	0.8264	0.8289	0.8315	0.8340	0.8365	0.8389
1.0	0.8413	0.8438	0.8461	0.8485	0.8508	0.8531	0.8554	0.8577	0.8599	0.8621
1.1	0.8643	0.8665	0.8686	0.8708	0.8729	0.8749	0.8770	0.8790	0.8810	0.8830
1.2	0.8849	0.8869	0.8888	0.8907	0.8925	0.8944	0.8962	0.8980	0.8997	0.9015
1.3	0.9032	0.9049	0.9066	0.9082	0.9099	0.9115	0.9131	0.9147	0.9162	0.9177
1.4	0.9192	0.9207	0.9222	0.9236	0.9251	0.9265	0.9278	0.9292	0.9306	0.9319
1.5	0.9332	0.9345	0.9357	0.9370	0.9382	0.9394	0.9406	0.9418	0.9429	0.9441
1.6	0.9452	0.9463	0.9474	0.9484	0.9495	0.9505	0.9515	0.9525	0.9535	0.9545
1.7	0.9554	0.9564	0.9573	0.9582	0.9591	0.9599	0.9608	0.9616	0.9625	0.9633
1.8	0.9641	0.9649	0.9656	0.9664	0.9671	0.9678	0.9686	0.9693	0.9699	0.9706
1.9	0.9713	0.9719	0.9726	0.9732	0.9738	0.9744	0.9750	0.9756	0.9761	0.9767
2.0	0.9772	0.9778	0.9783	0.9788	0.9793	0.9798	0.9803	0.9808	0.9812	0.9817
2.1	0.9821	0.9826	0.9830	0.9834	0.9838	0.9842	0.9846	0.9850	0.9854	0.9857
2.2	0.9861	0.9864	0.9868	0.9871	0.9875	0.9878	0.9881	0.9884	0.9887	0.9890
2.3	0.9893	0.9896	0.9898	0.9901	0.9904	0.9906	0.9909	0.9911	0.9913	0.9916
2.4	0.9918	0.9920	0.9922	0.9925	0.9927	0.9929	0.9931	0.9932	0.9934	0.9936
2.5	0.9938	0.9940	0.9941	0.9943	0.9945	0.9946	0.9948	0.9949	0.9951	0.9952
2.6	0.9953	0.9955	0.9956	0.9957	0.9959	0.9960	0.9961	0.9962	0.9963	0.9964
2.7	0.9965	0.9966	0.9967	0.9968	0.9969	0.9970	0.9971	0.9972	0.9973	0.9974
2.8	0.9974	0.9975	0.9976	0.9977	0.9977	0.9978	0.9979	0.9979	0.9980	0.9981
2.9	0.9981	0.9982	0.9982	0.9983	0.9984	0.9984	0.9985	0.9985	0.9986	0.9986
3.0	0.9987	0.9987	0.9987	0.9988	0.9988	0.9989	0.9989	0.9989	0.9990	0.9990
3.1	0.9990	0.9991	0.9991	0.9991	0.9992	0.9992	0.9992	0.9992	0.9993	0.9993
3.2	0.9993	0.9993	0.9994	0.9994	0.9994	0.9994	0.9994	0.9995	0.9995	0.9995
3.3	0.9995	0.9995	0.9995	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9996	0.9997
3.4	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9997	0.9998

al estándar

0.09

- 0.0002
- 0.0003
- 0.0005
- 0.0007
- 0.0010
- 0.0014
- 0.0019
- 0.0026
- 0.0036
- 0.0048
- 0.0064
- 0.0084
- 0.0110
- 0.0143
- 0.0183
- 0.0233
- 0.0294
- 0.0367
- 0.0455
- 0.0559
- 0.0681
- 0.0823
- 0.0985
- 0.1170
- 0.1379
- 0.1611
- 0.1867
- 0.2148
- 0.2451
- 0.2776
- 0.3121
- 0.3483
- 0.3859
- 0.4247
- 0.4641