



**UNIVERSIDAD DE JAÉN**  
*Escuela Politécnica Superior (Jaén)*

**Trabajo Fin de Máster**

**ANÁLISIS DE VIABILIDAD, ESTUDIO DE  
MERCADO Y DESARROLLO DE ASPECTOS DE  
MEJORA ERGONÓMICA APLICADA A  
TRACTORES AGRÍCOLAS CONFORME NORMA  
ISO 21500 PARA LA GESTIÓN DE PROYECTOS**

**Alumno/a:      Checa Gutiérrez, José Pedro**

**Tutores:** D. Manuel Jesús Hermoso Orzaez  
              Dña. Cristina Martín Doñate

**Dpto.:**      Ingeniería Gráfica, Diseño y Proyectos

**SEPTIEMBRE, 2019**



Universidad de Jaén  
Escuela Politécnica Superior de Jaén  
Departamento de Informática

Don Manuel Jesús Hermoso Orzaez y Doña Cristina Martín Doñate, tutores del Proyecto Fin de Carrera titulado: ANÁLISIS DE VIABILIDAD, ESTUDIO DE MERCADO Y DESARROLLO DE ASPECTOS DE MEJORA ERGONÓMICA APLICADA A TRACTORES AGRÍCOLAS CONFORME NORMA ISO 21500 PARA GESTIÓN DE PROYECTOS, que presenta José Pedro Checa Gutiérrez, autoriza su presentación para defensa y evaluación en la Escuela Politécnica Superior de Jaén.

Jaén, SEPTIEMBRE de 2019

El alumno:

Los tutores:

José Pedro Checa Gutiérrez

D. Manuel Jesús Hermoso Orzaez

Dña. Cristina Martín Doñate

**Índice**

|                                                                                                     |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Abstract .....                                                                                      | 11 |
| Keywords.....                                                                                       | 11 |
| 1. Introducción .....                                                                               | 12 |
| 1.1 Estado del Arte.....                                                                            | 12 |
| 1.2 Situación Actual .....                                                                          | 13 |
| 2. Metodología y Herramientas.....                                                                  | 16 |
| 2.1 Objeto.....                                                                                     | 16 |
| 2.2 Autoría del Proyecto.....                                                                       | 17 |
| 2.3 Antecedentes .....                                                                              | 17 |
| 2.4 Programa de necesidades .....                                                                   | 17 |
| 2.5 Reglamentación .....                                                                            | 18 |
| 2.6 Justificación del Proyecto.....                                                                 | 19 |
| 2.7 Bases de cálculo .....                                                                          | 19 |
| 2.8 Soluciones estudiadas .....                                                                     | 19 |
| 2.8.1 Sistema de visión infrarroja .....                                                            | 19 |
| 2.8.2 Sistema de sensores ultrasonidos y cámara infrarroja .....                                    | 23 |
| 2.8.3 Sistema Exclusivamente Ultrasonidos de Bajo Coste.....                                        | 24 |
| 2.9 Aplicación de Técnicas de decisión multicriterio para selección de Proyecto.....                | 28 |
| 2.10 Planificación .....                                                                            | 31 |
| 2.11 Presupuesto.....                                                                               | 35 |
| 2.11.1 Precios simples:.....                                                                        | 35 |
| 2.11.2 Presupuesto de solución de cámaras infrarrojas .....                                         | 36 |
| 2.11.3 Presupuesto de solución de cámaras infrarrojas complementado con sensores ultrasonidos ..... | 37 |
| 2.11.4 Presupuesto de solución exclusivamente de sensores ultrasonidos de bajo coste .....          | 38 |
| 2.12 Gestión de Riesgos.....                                                                        | 41 |
| 2.12.1 Registro de riesgos identificados .....                                                      | 41 |
| 2.12.2 Análisis cualitativo de riesgos .....                                                        | 43 |
| 2.12.3 Análisis cuantitativo de riesgos.....                                                        | 44 |
| 2.12.4 Registro de respuestas potenciales ante riesgos identificados.....                           | 45 |

|                                                                                                                         |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3. Resultados .....                                                                                                     | 47  |
| 4. Análisis de los Resultados .....                                                                                     | 49  |
| 4.1 Análisis de Normativa .....                                                                                         | 49  |
| 4.1.1 Real Decreto 286/2006 .....                                                                                       | 49  |
| 4.1.2 Directiva 2009/76CE .....                                                                                         | 49  |
| 4.1.3 Directiva 2009/63CE .....                                                                                         | 50  |
| 4.2 Análisis técnico .....                                                                                              | 50  |
| 4.3 Análisis económico.....                                                                                             | 52  |
| 5 Conclusiones .....                                                                                                    | 54  |
| 6 Anexos .....                                                                                                          | 56  |
| 6.1 Anexo 1: Cálculos Justificativos en Solución de Cámaras Infrarrojas<br>complementado con Sensores Ultrasonidos..... | 56  |
| 6.1.1 Ópticas.....                                                                                                      | 56  |
| 6.1.2 Switch .....                                                                                                      | 58  |
| 6.1.3 Altavoces .....                                                                                                   | 59  |
| 6.1.4 Batería .....                                                                                                     | 60  |
| 6.1.5 Cableado de batería con inversor .....                                                                            | 61  |
| 6.1.6 Posicionamiento de las cámaras .....                                                                              | 62  |
| 6.1.7 Cobertura de zonas ciegas .....                                                                                   | 67  |
| 6.1.8 Selección de Software del sistema .....                                                                           | 68  |
| 6.1.9 Posicionamiento de los altavoces.....                                                                             | 73  |
| 6.2 Anexo 2: Cálculos Justificativos en Solución de Sensores ultrasonidos. 74                                           |     |
| 6.2.1 Batería .....                                                                                                     | 74  |
| 6.2.2 Estudio de posicionamiento de los sensores ultrasonidos.....                                                      | 75  |
| 6.2.3 Posicionamiento de los piezoeléctricos .....                                                                      | 78  |
| 6.2.4 Software de la solución.....                                                                                      | 78  |
| 6.2.5 Software para validación de emisiones sonoras.....                                                                | 91  |
| 6.3 Anexo 3: Simulación del código .....                                                                                | 93  |
| 6.4 Anexo 4: Análisis de viabilidad Técnico-Económica .....                                                             | 97  |
| 6.4.1 Viabilidad Técnica.....                                                                                           | 97  |
| 6.4.2 Viabilidad Económica.....                                                                                         | 114 |
| 6.5 Anexo 5: Estudio de Mercado .....                                                                                   | 117 |



|       |                                                                                            |     |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 6.5.1 | Análisis DAFO de solución de cámara infrarroja complementada con sistema ultrasonido ..... | 117 |
| 6.5.2 | Análisis DAFO de solución de exclusivamente de sensores ultrasónicos.....                  | 118 |
| 7     | Planos.....                                                                                | 120 |
| 8     | Bibliografía.....                                                                          | 128 |

## Índice de Figuras

|                                                                                                                             |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ILUSTRACIÓN 1 VALORES HISTÓRICOS DE RUIDO EN EL PUESTO DEL CONDUCTOR. EL PROBLEMA DEL RUIDO EN LOS TRACTORES AGRÍCOLAS..... | 12 |
| ILUSTRACIÓN 2 DIAGRAMA DE FLUJOS DEL PROYECTO.....                                                                          | 16 |
| ILUSTRACIÓN 3 CÁMARA INFRARROJA .....                                                                                       | 20 |
| ILUSTRACIÓN 4 ORDENADOR PARA SISTEMA DE VISIÓN.....                                                                         | 21 |
| ILUSTRACIÓN 5 INVERSOR PARA SISTEMA DE VISIÓN .....                                                                         | 22 |
| ILUSTRACIÓN 6 SENSOR DE ULTRASONIDOS.....                                                                                   | 23 |
| ILUSTRACIÓN 7 PLC PARA SISTEMA DE VISIÓN INFRARROJA CON SENSORES DE ULTRASONIDOS .....                                      | 24 |
| ILUSTRACIÓN 8 SENSOR ULTRASONIDOS HC-SR04 .....                                                                             | 25 |
| ILUSTRACIÓN 9 ARDUINO UNO REV 3 .....                                                                                       | 25 |
| ILUSTRACIÓN 10 PIEZOELÉCTRICO .....                                                                                         | 26 |
| ILUSTRACIÓN 11 BATERÍA PARA SISTEMA DE BAJO COSTE CON SENSORES ULTRASONIDOS .....                                           | 27 |
| ILUSTRACIÓN 12 CARCASA DISEÑADA PARA HC-SR04 .....                                                                          | 27 |
| ILUSTRACIÓN 13 DIAGRAMA DE GANTT. ELABORACIÓN PROPIA .....                                                                  | 31 |
| ILUSTRACIÓN 14 HORAS ÚTILES DE TRABAJO POR TAREA. ELABORACIÓN PROPIA ....                                                   | 32 |
| ILUSTRACIÓN 15 COSTES POR TAREA A REALIZAR. ELABORACIÓN PROPIA.....                                                         | 33 |
| ILUSTRACIÓN 16 EVOLUCIÓN DE COSTES EN EL PROYECTO. ELABORACIÓN PROPIA ..                                                    | 33 |
| ILUSTRACIÓN 17 RIESGO EN EL CICLO DE VIDA DEL PROYECTO. APUNTES DE DIRECCIÓN Y GESTIÓN DE PROYECTOS .....                   | 41 |
| ILUSTRACIÓN 18 REGISTRO DE RIESGOS EXTERNOS IDENTIFICADOS. ELABORACIÓN PROPIA .....                                         | 43 |
| ILUSTRACIÓN 19 MATRIZ DE RIESGOS. APUNTES DE DIRECCIÓN Y GESTIÓN DE PROYECTOS DE MÁSTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL .....      | 43 |
| ILUSTRACIÓN 20 DISEÑO MODULAR DEL SISTEMA DE ULTRASONIDOS.....                                                              | 54 |
| ILUSTRACIÓN 21 - ESPECIFICACIONES DE CÁMARA ELEGIDA. DATASHEET DE CALIBIR 640 .....                                         | 56 |
| ILUSTRACIÓN 22 SWITCH DE 5 PUERTOS.....                                                                                     | 59 |
| ILUSTRACIÓN 23 RUIDO EN CABINA MÁXIMO PARA DISTINTOS MODELOS DE TRACTOR. ELABORACIÓN PROPIA .....                           | 59 |
| ILUSTRACIÓN 24 ALTAVOCES PARA SISTEMA DE VISIÓN.....                                                                        | 60 |
| ILUSTRACIÓN 25 BATERÍA MONOBLOQUE GEL ME DE 12V Y 280 AH .....                                                              | 61 |
| ILUSTRACIÓN 26 POSICIONAMIENTO DE CÁMARA INFRARROJA TRASERA.....                                                            | 63 |
| ILUSTRACIÓN 27. POSICIONAMIENTO DE LA CÁMARA DELANTERA.....                                                                 | 63 |
| ILUSTRACIÓN 28 VISTA PERFIL - ZONA DE VISIÓN CON CÁMARA DELANTERA EN POSICIÓN 2.....                                        | 65 |
| ILUSTRACIÓN 29 VISTA PERFIL - ZONA CIEGA PARA CÁMARA FRONTAL EN POSICIÓN 1 .....                                            | 66 |
| ILUSTRACIÓN 30 VISTA PERFIL - ZONA CIEGA PARA CÁMARA FRONTAL EN POSICIÓN 2 .....                                            | 66 |
| ILUSTRACIÓN 31 VISTA PLANTA - ZONAS CIEGAS .....                                                                            | 67 |
| ILUSTRACIÓN 32 POSICIONAMIENTO DE SENSOR ULTRASONIDO PARA COBERTURA DE PUNTO CIEGO .....                                    | 67 |
| ILUSTRACIÓN 33 POSICIONAMIENTO DE SENSORES ULTRASONIDOS .....                                                               | 68 |
| ILUSTRACIÓN 34 VISTA PLANTA - DETECCIÓN DE SENSORES ULTRASONIDOS .....                                                      | 68 |
| ILUSTRACIÓN 35 POSICIONAMIENTO DE ALTAVOCES.....                                                                            | 73 |

|                                                                                                                                                                                                                  |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ILUSTRACIÓN 36 CARACTERÍSTICAS DEL REGULADOR DE TENSIÓN DE ARDUINO UNO.<br>DATASHEET DE AMS1117 .....                                                                                                            | 74  |
| ILUSTRACIÓN 37 COBERTURA ANGULAR DE SENSOR ULTRASONIDOS HC-SR04.<br>DATASHEET DE HC-SR04 .....                                                                                                                   | 75  |
| ILUSTRACIÓN 38 - REGIÓN DE INTERÉS DE COBERTURA DE SENSOR ULTRASONIDOS<br>HC-SR04. ELABORACIÓN PROPIA SOBRE DATASHEET DE HC-SR04 .....                                                                           | 76  |
| ILUSTRACIÓN 39 VISTA PLANTA DE COBERTURA DE SENSORES ULTRASONIDOS HC-<br>SR04 .....                                                                                                                              | 77  |
| ILUSTRACIÓN 40 VISTA PERFIL DE COBERTURA DE SENSORES ULTRASONIDOS HC-<br>SR04 .....                                                                                                                              | 77  |
| ILUSTRACIÓN 41 POSICIONAMIENTO DE PIEZOELÉCTRICOS EN CABINA .....                                                                                                                                                | 78  |
| ILUSTRACIÓN 42 PROTOTIPO DE TESTEO DE SENSORES Y PIEZOELÉCTRICOS .....                                                                                                                                           | 78  |
| ILUSTRACIÓN 43 GRABACIÓN DE SONIDO EMITIDO POR PIEZOELÉCTRICOS EN PRUEBA<br>EXPERIMENTAL .....                                                                                                                   | 97  |
| ILUSTRACIÓN 44 MEDIDA DE PRESIÓN SONORA EN PIEZOELÉCTRICOS.....                                                                                                                                                  | 98  |
| ILUSTRACIÓN 45 - FACTORES CORRECTIVOS PARA DECIBELIOS PONDERADOS .....                                                                                                                                           | 98  |
| ILUSTRACIÓN 46 ESPECTRO DE FRECUENCIAS DE LAS PRESIONES SONORAS MEDIAS EN<br>LAS CABINAS DE LOS TRACTORES. PERSONAL NOISE EXPOSURES OF OPERATORS<br>OF AGRICULTURAL TRACTORS .....                               | 99  |
| ILUSTRACIÓN 47 EJEMPLO DE TOMA DE DATOS FRONTAL PARA CUERPO<br>APROXIMADAMENTE CILÍNDRICO. IMÁGENES DE EJEMPLO PARA ÁNGULO 0 Y<br>DISTANCIAS DE 30 CM, 50 CM Y 80CM RESPECTIVAMENTE. ....                        | 101 |
| ILUSTRACIÓN 48 EJEMPLO DE TOMA DE DATOS PARA ÁNGULO IZQUIERDO PARA CUERPO<br>APROXIMADAMENTE CILÍNDRICO. IMÁGENES DE EJEMPLO PARA (30°,30CM),<br>(35°,50CM) Y (12°, 80CM).....                                   | 102 |
| ILUSTRACIÓN 49 EJEMPLO DE TOMA DE DATOS PARA ÁNGULOS DERECHOS Y CUERPO<br>APROXIMADAMENTE CILÍNDRICO. IMÁGENES DE EJEMPLO PARA (18°,30CM),<br>(20°,50CM) Y (14°, 80CM).....                                      | 102 |
| ILUSTRACIÓN 50 EJEMPLO DE TOMA DE DATOS FRONTAL PARA CUERPO IRREGULAR.<br>IMÁGENES DE EJEMPLO PARA ÁNGULO 0 Y DISTANCIAS DE 30 CM, 50 CM Y 80CM<br>RESPECTIVAMENTE .....                                         | 103 |
| ILUSTRACIÓN 51 EJEMPLO DE TOMA DE DATOS PARA ÁNGULO IZQUIERDO Y CUERPO<br>IRREGULAR. IMÁGENES DE EJEMPLO PARA (30°,30CM), (35°,50CM) Y (15°, 80CM)<br>.....                                                      | 104 |
| ILUSTRACIÓN 52 EJEMPLO DE TOMA DE DATOS PARA ÁNGULO DERECHO Y CUERPO<br>IRREGULAR. IMÁGENES DE EJEMPLO PARA (15°,30CM), (30°,50CM) Y (17°, 80CM)<br>.....                                                        | 104 |
| ILUSTRACIÓN 53 EJEMPLO DE TOMA DE DATOS FRONTAL PARA CUERPO PLANO.<br>IMÁGENES DE EJEMPLO FRONTALES A DISTANCIAS DE 30 CM, 50 CM Y 80CM<br>RESPECTIVAMENTE .....                                                 | 105 |
| ILUSTRACIÓN 54 EJEMPLO DE TOMA DE DATOS PARA ÁNGULOS DERECHOS Y CUERPO<br>PLANO DE 12 CM DE ALTURA Y 18 CM DE ANCHURA. IMÁGENES DE EJEMPLO<br>TOMADAS A (15°,30CM),(22°,50CM),(23°,80CM) RESPECTIVAMENTE .....   | 105 |
| ILUSTRACIÓN 55 EJEMPLO DE TOMA DE DATOS FRONTAL PARA CUERPO PLANO.<br>IMÁGENES DE EJEMPLO FRONTALES A DISTANCIAS DE 40 CM, 50 CM Y 80CM<br>RESPECTIVAMENTE .....                                                 | 106 |
| ILUSTRACIÓN 56 EJEMPLO DE TOMA DE DATOS PARA ÁNGULOS IZQUIERDOS Y CUERPO<br>PLANO DE 18 CM DE ALTURA Y 12 CM DE ANCHURA. IMÁGENES DE EJEMPLO<br>TOMADAS A (30°,30CM),(23°,50CM),(21°,80CM) RESPECTIVAMENTE ..... | 106 |

|                                                                                                                                                                                                                                            |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ILUSTRACIÓN 57 EJEMPLO DE TOMA DE DATOS FRONTAL PARA CUERPO PLANO.<br>IMÁGENES DE EJEMPLO FRONTALES A DISTANCIAS DE 30 CM, 50 CM PARA ANIMAL<br>CAMINANDO SOBRE 4 PATAS Y 50CM CON ANIMAL SOSTENIDO SOBRE 2 PATAS<br>RESPECTIVAMENTE ..... | 107 |
| ILUSTRACIÓN 58 CAPTURA DE PANTALLA DE COMUNICACIÓN PUERTO SERIE.....                                                                                                                                                                       | 108 |
| ILUSTRACIÓN 59 DATOS OBTENIDOS EN ENSAYO HORIZONTAL A SENSOR<br>ULTRASONIDOS HC-SR04. ELABORACIÓN PROPIA.....                                                                                                                              | 110 |
| ILUSTRACIÓN 60 DATOS OBTENIDOS EN ENSAYO VERTICAL A SENSOR ULTRASONIDOS<br>HC-SR04. ELABORACIÓN PROPIA.....                                                                                                                                | 111 |
| ILUSTRACIÓN 61 ANGULO EXPERIMENTAL DE OBTENCIÓN ÓPTIMA HORIZONTAL EN<br>SENSOR HC-SR04. ELABORACIÓN PROPIA .....                                                                                                                           | 111 |
| ILUSTRACIÓN 62 ANGULO EXPERIMENTAL DE OBTENCIÓN ÓPTIMA VERTICAL EN SENSOR<br>HC-SR04. ELABORACIÓN PROPIA.....                                                                                                                              | 112 |

**Índice de Tablas**

|                                                                                                                                   |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| TABLA 1 MATRIZ MULTICRITERIO DE SELECCIÓN DE PROYECTO.....                                                                        | 28 |
| TABLA 2 PESOS PARA MATRIZ MULTICRITERIO. ELABORACIÓN PROPIA .....                                                                 | 28 |
| TABLA 3 MATRIZ MULTICRITERIO NORMALIZADA. ELABORACIÓN PROPIA .....                                                                | 29 |
| TABLA 4 RESULTADOS OBTENIDOS PARA DISTINTOS MÉTODOS DE SELECCIÓN<br>MULTICRITERIO. ELABORACIÓN PROPIA .....                       | 29 |
| TABLA 5 REGISTRO DE TAREAS Y SUBTAREAS. ELABORACIÓN PROPIA .....                                                                  | 31 |
| TABLA 6 DISTRIBUCIÓN DE COSTES HORARIOS POR RECURSO. ELABORACIÓN PROPIA<br>.....                                                  | 32 |
| TABLA 7 DISTRIBUCIÓN DE COSTES POR TAREA. ELABORACIÓN PROPIA .....                                                                | 32 |
| TABLA 8 PRECIOS SIMPLES DE MATERIALES. DATOS OBTENIDOS DE FABRICANTES....                                                         | 35 |
| TABLA 9 PRECIOS SIMPLES DE MANO DE OBRA Y MAQUINARIA. ELABORACIÓN PROPIA<br>.....                                                 | 35 |
| TABLA 10 JUSTIFICACIÓN DE PRECIOS PARA INSTALACIÓN DE SOFTWARE DE CÁMARAS<br>INFRARROJAS. ELABORACIÓN PROPIA .....                | 36 |
| TABLA 11 JUSTIFICACIÓN DE PRECIOS PARA MONTAJE DE SISTEMA DE CÁMARAS<br>INFRARROJAS. ELABORACIÓN PROPIA .....                     | 36 |
| TABLA 12 RESUMEN DE PRESUPUESTO DE SISTEMA DE CÁMARAS INFRARROJAS.<br>ELABORACIÓN PROPIA.....                                     | 36 |
| TABLA 13 JUSTIFICACIÓN DE PRECIOS PARA INSTALACIÓN DE SOFTWARE DE CÁMARAS<br>INFRARROJAS Y ULTRASONIDOS. ELABORACIÓN PROPIA ..... | 37 |
| TABLA 14 JUSTIFICACIÓN DE PRECIOS PARA MONTAJE DE SISTEMA DE CÁMARAS<br>INFRARROJAS Y ULTRASONIDOS. ELABORACIÓN PROPIA .....      | 37 |
| TABLA 15 RESUMEN DE PRESUPUESTO DE SISTEMA DE CÁMARAS INFRARROJAS Y<br>ULTRASONIDOS. ELABORACIÓN PROPIA.....                      | 38 |
| TABLA 16 JUSTIFICACIÓN DE PRECIOS PARA INSTALACIÓN DE SOFTWARE EN SISTEMA<br>DE ULTRASONIDOS. ELABORACIÓN PROPIA .....            | 38 |
| TABLA 17 JUSTIFICACIÓN DE PRECIOS DE MONTAJE DE SISTEMA DE ULTRASONIDOS.<br>ELABORACIÓN PROPIA.....                               | 38 |
| TABLA 18 RESUMEN DE PRESUPUESTO PARA SOLUCIÓN DE ULTRASONIDOS.<br>ELABORACIÓN PROPIA.....                                         | 39 |
| TABLA 19 REGISTRO DE RIESGOS INTERNOS IDENTIFICADOS. ELABORACIÓN PROPIA                                                           | 42 |
| TABLA 20 APLICACIÓN DE MATRIZ DE RIESGOS AL REGISTRO DE RIESGOS<br>IDENTIFICADOS. ELABORACIÓN PROPIA .....                        | 43 |
| TABLA 21 DATOS RECOGIDOS MEDIANTE ENTREVISTA RESPECTO A RIESGOS<br>IDENTIFICADOS. ELABORACIÓN PROPIA .....                        | 44 |
| TABLA 22 REGISTRO DE RESPUESTAS POTENCIALES A LOS RIESGOS IDENTIFICADOS.<br>ELABORACIÓN PROPIA.....                               | 45 |
| TABLA 23 PRINCIPALES RESULTADOS OBTENIDOS. ELABORACIÓN PROPIA .....                                                               | 47 |
| TABLA 24 TIEMPO UTILIZADO POR EL SISTEMA DISEÑADO. ELABORACIÓN PROPIA .....                                                       | 51 |
| TABLA 25 TIEMPO DE REACCIÓN DE CONDUCTOR ANTE PELIGRO INESPERADO (NAJM,<br>MORENER, KOZIOL, WANG & KNIPLING. 1995).....           | 51 |
| TABLA 26 TIEMPO DE REACCIÓN DE CONDUCTOR ANTE PELIGRO INESPERADO (OLSON<br>& SIVAK. 1986) .....                                   | 51 |
| TABLA 27 TIEMPO ESTIMADO TOTAL DE CORRECCIÓN ANTE APARICIÓN DE OBSTÁCULO.<br>. ELABORACIÓN PROPIA .....                           | 51 |
| TABLA 28 VALORES DE PRESIÓN SONORA MÁXIMA EN CABINA DE TRACTORES.<br>ELABORACIÓN PROPIA.....                                      | 60 |

|                                                                                                              |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| TABLA 29 TIEMPO DE EJECUCIÓN DE CÓDIGO DE PRUEBA .....                                                       | 71  |
| TABLA 30 MATRIZ MULTICRITERIO DE SELECCIÓN DE SOFTWARE PARA SOLUCIÓN DE<br>CÁMARAS. ELABORACIÓN PROPIA ..... | 72  |
| TABLA 31 PESOS PARA MATRIZ MULTICRITERIO DE SOLUCIÓN DE CÁMARAS.<br>ELABORACIÓN PROPIA .....                 | 72  |
| TABLA 32 MATRIZ MULTICRITERIO NORMALIZADA. ELABORACIÓN PROPIA .....                                          | 72  |
| TABLA 33 RESULTADOS OBTENIDOS PARA DISTINTOS MÉTODOS DE SELECCIÓN<br>MULTICRITERIO. ELABORACIÓN PROPIA ..... | 72  |
| TABLA 34 RESPUESTAS PARA SIMULACIÓN DE CASO DE ESTUDIO Nº 1. ELABORACIÓN<br>PROPIA.....                      | 93  |
| TABLA 35 RESPUESTAS PARA SIMULACIÓN DE CASO DE ESTUDIO Nº 2. ELABORACIÓN<br>PROPIA.....                      | 93  |
| TABLA 36 RESPUESTAS PARA SIMULACIÓN DE CASO DE ESTUDIO Nº 3. ELABORACIÓN<br>PROPIA.....                      | 94  |
| TABLA 37 RESPUESTAS PARA SIMULACIÓN DE CASO DE ESTUDIO Nº 4. ELABORACIÓN<br>PROPIA.....                      | 94  |
| TABLA 38 RESPUESTAS PARA SIMULACIÓN DE CASO DE ESTUDIO Nº 5. ELABORACIÓN<br>PROPIA.....                      | 95  |
| TABLA 39 RESPUESTAS PARA SIMULACIÓN DE CASO DE ESTUDIO Nº 6. ELABORACIÓN<br>PROPIA.....                      | 95  |
| TABLA 40 RESPUESTAS PARA SIMULACIÓN DE CASO DE ESTUDIO Nº 7. ELABORACIÓN<br>PROPIA.....                      | 96  |
| TABLA 41 RESPUESTAS PARA SIMULACIÓN DE CASO DE ESTUDIO Nº 8. ELABORACIÓN<br>PROPIA.....                      | 96  |
| TABLA 42 VALORES DE PRESIÓN SONORA DE TRACTORES ACTUALES. ELABORACIÓN<br>PROPIA.....                         | 98  |
| TABLA 43 VALORES FILTRADOS EMITIDOS POR PIEZOELÉCTRICOS. ELABORACIÓN<br>PROPIA.....                          | 98  |
| TABLA 44 VALORES FILTRADOS DE PRESIÓN SONORA MÁXIMA MEDIANA EN TRACTORES.<br>ELABORACIÓN PROPIA.....         | 99  |
| TABLA 45 VALORES TOTALES DE PRESIÓN SONORA EN TRACTOR CON SISTEMA<br>DISEÑADO. ELABORACIÓN PROPIA .....      | 100 |
| TABLA 46 VALORES DE DISTANCIAS OBTENIDOS A DISTINTAS DISTANCIAS DE<br>OBSTÁCULO. ELABORACIÓN PROPIA.....     | 109 |
| TABLA 47 MEDICIONES HORIZONTALES PARA SENSOR ULTRASÓNICO. ELABORACIÓN<br>PROPIA.....                         | 109 |
| TABLA 48 MEDICIONES VERTICALES PARA SENSOR ULTRASÓNICO. ELABORACIÓN<br>PROPIA.....                           | 110 |
| TABLA 49 INGRESOS, COSTES Y AMORTIZACIÓN DEL PROYECTO. ELABORACIÓN PROPIA<br>.....                           | 114 |
| TABLA 50 FLUJOS DE CAJA DEL PROYECTO. ELABORACIÓN PROPIA. ....                                               | 114 |

**Abstract**

[ES] Dado que históricamente ha existido un alto nivel de presión sonora en las cabinas de los tractores, los sistemas de feedback sonoro en los tractores no están muy desarrollados.

El desarrollo de un sistema capaz de dar notificaciones acústicas ante situaciones externas, es una de las vías posibles para implementar ventajas competitivas en el mercado del tractor agrícola y la mejora de la experiencia del conductor.

Por tanto, el objetivo del presente proyecto es realizar un estudio de posibles sistemas para la detección de obstáculos utilizando sensores ultrasonidos y cámaras infrarrojas para la obtención de información, realizando un procesamiento mediante ordenador, PLC o microcontrolador y notificando al conductor de la situación mediante vía acústica.

Algunos autores de estudios psicológicos han investigado la combinación de lugares en los cuales la emisión de una señal sonora puede reducir el tiempo de respuesta ante situaciones inesperadas, por ello se aplicarán estos resultados con el fin de reducir el tiempo de respuesta del conductor.

Una vez realizado el estudio, se decide cuál es la solución óptima y se desarrolla una metodología para implementarla, realizando simulaciones y un prototipo de bajo coste para la validación de los resultados.

[EN] Historically, there has been a high level of sound pressure in tractor cabs, sound feedback systems in tractors are not very developed.

The development of a system capable of giving acoustic notifications in external situations is one of the possible ways to implement competitive advantages in the agricultural tractor market and the improvement of the driver's experience.

The objective of this project is to carry out a study of possible systems for the obstacles detection using ultrasonic sensors and infrared cameras to obtain information, processing by computer, PLC or microcontroller and notifying the driver of the situation by acoustic means.

Some authors of psychological studies have researched the combination of places in which the emission of a sound signal can reduce the response time to unexpected situations, therefore these results will be applied in order to reduce the response time of the driver.

Once the study has been carried out, the optimum solution is decided and a methodology is developed to implement it, performing simulations and a low-cost prototype to validate the results.

**Keywords**

[ES] Ergonomía, Tractores, Detección de obstáculos, Sensores ultrasónicos, Maquinaria agrícola.

[EN] Ergonomy, Tractors, Obstacles detection, Ultrasonic sensors, Agricultural machinery.

## 1. Introducción

### 1.1 Estado del Arte

Aunque los seres humanos han estado practicando la agricultura desde el origen de los tiempos, su mecanización es una evolución de los últimos doscientos años, siendo más significativa en el último siglo.

De igual modo, desde comienzos del siglo XIX, la ciencia de la ergonomía empezó a crecer modestamente, teniendo un crecimiento exponencial en el último siglo, como se explica en '*Ergonomics and the Development of Agricultural Vehicles*'.

La palabra ergonomía procede de las palabras griegas 'ergon' que significa trabajo, y 'nomos' que significa natural. La ergonomía es una disciplina científica relacionada con la comprensión de las interacciones entre los seres humanos y otros elementos del sistema.

El tractor es un vehículo ampliamente utilizado para el trabajo en la agricultura, donde con frecuencia hay que mantener la atención en distintos lugares simultáneamente (terminales, entorno, rendimiento de trabajo, comportamiento del tractor...) pudiendo dar lugar en ocasiones a incidencias. Por ello, un sistema de apoyo al conductor que emita señales de aviso ante la detección de obstáculos, podría reducir los riesgos en el trabajo.

Dado que años atrás los niveles de presión sonora en la cabina de los tractores agrícolas eran muy altos, no era viable la emisión de señales sonoras de forma ergonómica para informar al conductor, como se muestra en la siguiente gráfica obtenida del estudio realizado en '*El problema del ruido en los tractores agrícolas*'.

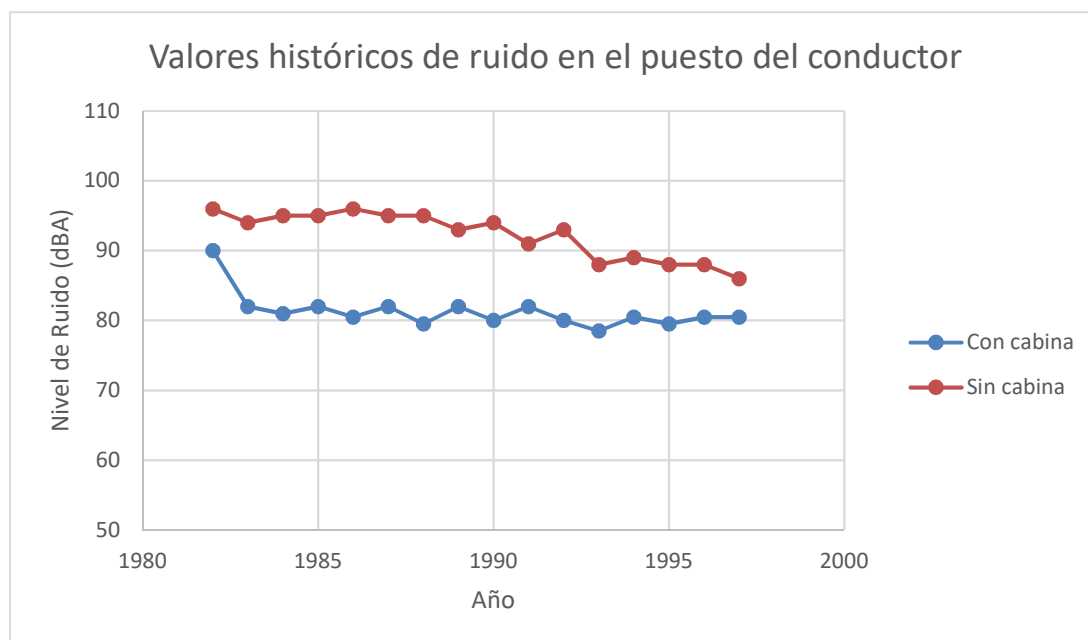


Ilustración 1 Valores históricos de ruido en el puesto del conductor. *El problema del ruido en los tractores agrícolas*.



En la actualidad las cabinas de los tractores son verdaderos centros de trabajo, esto es así por el aumento de normativa respectiva a los niveles de ruido emitidos por el tractor (*Directiva 2009/76/CE, Directiva 2003/37/CE*) y por una mayor demanda por parte del cliente, debido a la dificultad para la comunicación durante el tiempo de trabajo y a que existen estudios que muestran que los niveles de ruido a los que se exponían los conductores inducían problemas de audición a largo plazo (véase estudio en '*Tractor Noise Exposure Levels for Bean-bar Riders*' y normativa al respecto a la protección del trabajador frente a riesgos auditivos *Real Decreto 286/2006*).

El documento proporcionado por *AGCO Corporation (8-1-2019)*, empresa de equipamiento agrícola, muestra que actualmente la retroalimentación auditiva no se utiliza de manera óptima en los tractores. Además, manifiesta la necesidad de mejora en esta vía para incrementar la seguridad de los conductores, reducir la carga cognitiva y obtener una ventaja competitiva en el mercado. Empresas como Valtra se encuentran interesadas en implementar mejoras en esta dirección actualmente.

Teniendo este enfoque, el presente proyecto se va a centrar en el estudio de la situación del mercado respecto a la ergonomía acústica de los tractores y se presentará una solución capaz de detectar obstáculos notificando al conductor de forma sonora.

Para este estudio se tendrán en cuenta resultados obtenidos en estudios como '*Sound localization: Information Theory Analysis*' de *J.S.Wallace* y *D.L.Fisher* o '*Assessing the Effectiveness of Various Auditory Cues in Capturing a Driver's Visual Attention*' de *Cristy Ho* y *Charles Spence* con el fin de reducir el tiempo de respuesta y evitar confusiones en el conductor, relativo a el lugar en el que se debe posicionar el foco emisor de sonido en función del lugar en el que se encuentra el obstáculo.

Se utilizarán también los estudios de *Najm W., Mironer M., Koziol J., Wang J..S, & Knipling R.* en '*Synthesis report; Examination of target vehicular crashes and potential ITS countermeasures*' y *Olson,P. & Sivak,M* en '*Perception response time to unexpected roadway hazards. Human Factors*' para estimar el tiempo de respuesta desde la detección del obstáculo hasta la aplicación de medida correctiva por parte del conductor.

## 1.2 Situación Actual

En la actualidad existen diversas soluciones, y de distintas marcas, para detección de cuerpos en las inmediaciones de los tractores, aunque principalmente utilizados para detectar plantas en las que pulverizar fertilizante de las cubas. De esta forma se puede automatizar la pulverización del producto, eliminando necesidad de que haya una persona que lo haga manualmente, optimizando el uso sólo donde se encuentra la planta. Dentro de este tipo de soluciones, las más extendidas son principalmente de ultrasonidos y sin monitor por tener un precio más bajo que en otras soluciones proporcionando una buena precisión.

Estos últimos años también se han desarrollado soluciones equipadas con cámaras y monitores colocados en la cabina del conductor donde se puede controlar visualmente dónde se está pulverizando el producto, además de tener un control de dónde se está atomizando.

A su vez, también se están desarrollando sistemas de visión para lograr que los tractores puedan ser autónomos, aunque hoy en día siguen necesitando desarrollo pues los mismos fabricantes afirman que uno de los mayores problemas para la autonomía es el polvo y otras condiciones climáticas, ya que reducen la precisión de los sensores.



**UNIVERSIDAD DE JAÉN**  
*Escuela Politécnica Superior (Jaén)*

## **METODOLOGÍA**

**SEPTIEMBRE, 2019**

## 2. Metodología y Herramientas

### 2.1 Objeto

Se redacta el presente proyecto con el objeto de analizar la viabilidad, estudiar el mercado y desarrollar aspectos de mejora ergonómica aplicada a tractores agrícolas.

A continuación, se muestra un diagrama de flujos explicativo de las fases de las que se compone el presente proyecto:

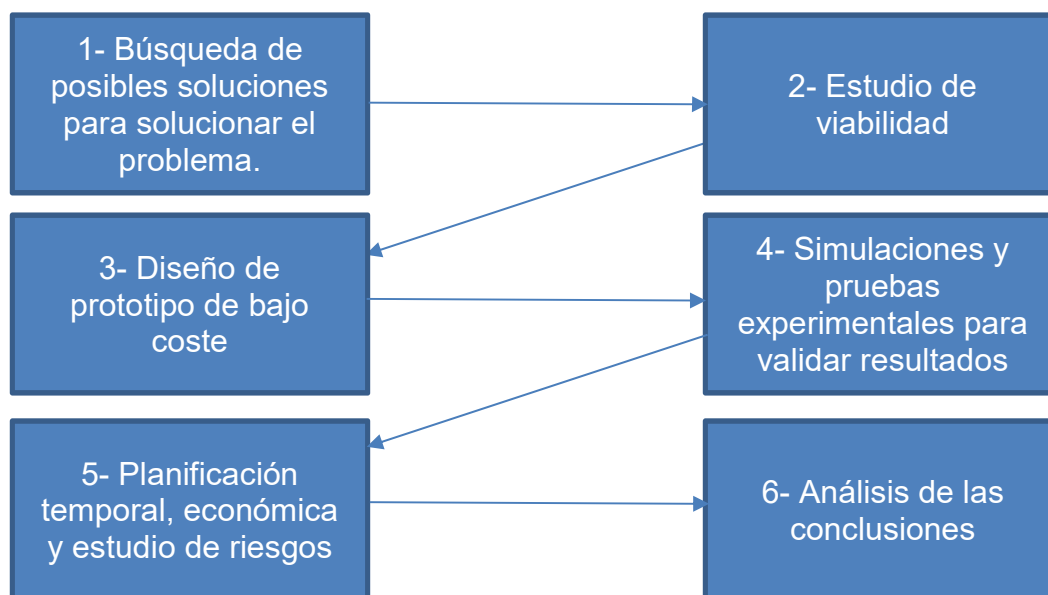


Ilustración 2 Diagrama de flujos del proyecto

Se estudiará la viabilidad de los siguientes sistemas:

- Sistema de visión por cámaras infrarrojas.
- Ampliación de Sistema de visión por cámaras mediante la utilización de sensores de ultrasonidos.
- Sistema de detección de presencia por sensores ultrasónicos.

La estructura del proyecto está compuesta por 6 documentos:

- **Documento 1:** Introducción. En este capítulo se realiza una introducción al tema tratado en el proyecto, así como un breve resumen de la situación actual.
- **Documento 2:** Metodología y Herramientas. Este capítulo contiene toda la normativa relativa al proyecto, las soluciones estudiadas, los presupuestos y la gestión de los riesgos del proyecto.
- **Documento 3:** Resultados. En este documento se muestran los resultados obtenidos tras la realización del estudio.
- **Documento 4:** Análisis de los Resultados. Una vez obtenidos los resultados, en este punto se realiza un análisis a nivel normativo, técnico y económico.

- **Documento 5:** Conclusiones. En este capítulo se muestran las conclusiones obtenidas tras la realización del proyecto y las posibles líneas de mejora.
- **Documento 6:** Anexos. Este documento contiene el estudio pormenorizado de las soluciones expuestas en el documento 2, así como simulaciones, estudios de viabilidad técnica, económica y de mercado.
- **Documento 7:** Planos. Este capítulo contiene los planos realizados tanto a nivel mecánico como electrónico.
- **Documento 8:** Bibliografía. Este punto contiene las referencias a las fuentes de conocimiento que han hecho el proyecto posible.

## 2.2 Autoría del Proyecto

El autor de la redacción del presente Proyecto es el Graduado en Ingeniería Electrónica Industria José Pedro Checa Gutiérrez, aspirante al título de Máster de Ingeniería Industrial, bajo la tutorización de Doña Cristina Martín Doñate y Don Manuel Jesús Hermoso Orzaez.

## 2.3 Antecedentes

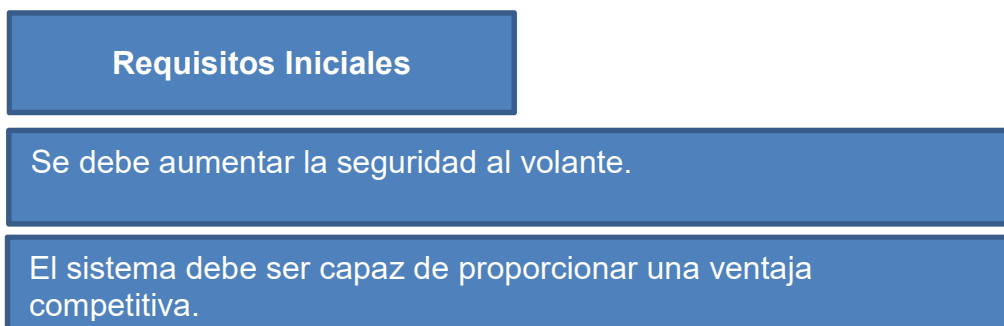
En el mundo del tractor no había existencia de gran variedad de señales acústicas que comunicasen al vehículo con el entorno, a diferencia de otro tipo de vehículos, como el coche. Uno de los factores implicados es el alto nivel de ruido que emitía el tractor en el pasado, lo que podría ocultar la información sonora a emitir.

Algunos sistemas de feedback auditivo que se pueden encontrar en la actualidad en un vehículo son:

- Sonido de apoyo para aparcamiento notificando la cercanía de obstáculos.
- Comunicación con GPS por vía auditiva.
- Información sobre niveles de combustible.
- Información sobre puertas abiertas.
- Información sobre presencia de persona sentada sin cinturón de seguridad.

## 2.4 Programa de necesidades

Los requisitos iniciales obtenidos del documento proporcionado por AGCO Corporation son los que se muestran en el siguiente esquema:



El sistema debe tener la posibilidad de desconectar el sonido.

Se debe reducir la carga cognitiva al conductor.

El sistema debe contener retroalimentación auditiva, ya que no se necesitan los ojos del operador para entregar la información.

Se pretenden cubrir las necesidades de detección de obstáculos en las inmediaciones del tractor, contemplando tanto obstáculos inmóviles como objetos en movimiento, notificando al conductor mediante retroalimentación auditiva, sirviendo de apoyo para evitar accidentes.

Estas aplicaciones son útiles en situaciones de déficit de atención al volante, ya que un ordenador, PLC o microcontrolador se encargan de avisar de posibles peligros detectados. Además, estas soluciones son efectivas en situaciones de altos niveles de niebla o bajos niveles de iluminación, ya que a pesar de que los sentidos humanos podrían no llegar a detectar la presencia de obstáculos, ambos sistemas tendrían capacidad suficiente para ello.

Se realizará el estudio de diversas soluciones capaces de cubrir la visión delantera y trasera del vehículo.

## 2.5 Reglamentación

Para el desarrollo del presente proyecto se van a tener en cuenta los Reglamentos que se citan, así como sus sucesivas modificaciones:

- Real Decreto 286/2006 Sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición al ruido. BOE nº 60-11-03-2006.
- Directiva 2009/76/CE Relativa al nivel sonoro en los oídos de los conductores de tractores agrícolas o forestales de ruedas.
- Directiva 2003/37/CE Relativa a la homologación de los tractores agrícolas o forestales, de sus remolques y de su maquinaria intercambiable remolcada, así como de los sistemas, componentes y unidades técnicas de dichos vehículos.
- Directiva 77/311/CEE Relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros sobre el nivel sonoro en los oídos de los conductores de tractores, agrícolas o forestales, de ruedas. (Obsoleta)
- Directiva 2009/63/CE Sobre determinados elementos y características de los tractores agrícolas o forestales de ruedas.

## **2.6 Justificación del Proyecto**

Se justifica la realización del presente Proyecto por la necesidad de buscar ventajas competitivas en el mercado del tractor agrícola, dado que los sistemas actuales de feedback auditivo no están demasiado desarrollados en estos vehículos.

Se pretende también mejorar la experiencia del conductor, incrementando la seguridad de estos y reduciendo la carga cognitiva durante la conducción.

El proyecto pretende también servir como ampliación y consolidación de los conocimientos adquiridos durante el Máster en Ingeniería Industrial impartido por la Universidad de Jaén, utilizando técnicas de planificación, evaluación económica y gestión de riesgos, entre otras.

## **2.7 Bases de cálculo**

Aunque se pretende que la solución sea lo más genérica posible, para el cálculo de los elementos que componen el sistema de detección de obstáculos se ha partido de un tractor Valtra Serie T. Con las siguientes dimensiones principales:

- 5,8 m de longitud.
- 2,55 m de anchura.
- 2,995 m de batalla.
- 3,13 m de altura.
- 70 dB de ruido máximo en cabina.

## **2.8 Soluciones estudiadas**

A continuación, se indica la disposición de los equipos que se proyectan, así como las características de todos ellos se especifican en los correspondientes Anexos a los que se hace alusión en cada apartado.

### **2.8.1 Sistema de visión infrarroja**

Este diseño consiste en un sistema que, mediante unas cámaras térmicas infrarrojas, determina la temperatura de los elementos que se encuentran frente al tractor a partir de su radiación infrarroja. Un ordenador se encargaría de procesar a tiempo real las imágenes recibidas por dichas cámaras y éste mandaría una señal a unos altavoces que informarían al conductor de la situación.

#### **2.8.1.1 Cámaras**

Para cubrir la visión tanto en la parte frontal como en la trasera del tractor se utilizan dos cámaras con las siguientes características:

- Que permitan determinar temperatura a partir de la radiación infrarroja.
- Con volumen reducido, ya que el espacio es limitado.

-Con un rango de temperaturas que incluya la temperatura corporal media, ya que se pretende detectar la presencia de personas o animales.

- Con una resolución suficiente para trabajar.

Se propone utilizar una cámara infrarroja con capacidad de medir temperaturas en un rango de  $-40$  a  $60^{\circ}\text{C}$  (la temperatura corporal es de  $36^{\circ}$  aproximadamente). Volumen reducido,  $29 \times 29 \times 60 \text{ mm}$  aproximadamente, con óptica. La resolución de la cámara recomendada es de  $480 \times 640$ , suficiente dado que los cuerpos que se pretenden detectar son relativamente grandes. Otro motivo para elegir la cámara es la conexión RJ45, dado que simplifica su utilización.

A continuación, se muestra una imagen del modelo seleccionado:



Ilustración 3 Cámara infrarroja

El posicionamiento de las cámaras se ha estudiado en el Anexo 1 del presente proyecto, en el punto 6.1.6.

### 2.8.1.2 Ópticas

Los cuerpos más pequeños que se pretenden detectar se van a fijar a un área de  $1,5 \text{ dm}^2$  en 15 píxeles a distancias de la cámara de 2, para la cámara trasera. A su vez se va a fijar a un área de detección de  $1,5 \text{ dm}^2$  a 15 píxeles para distancias de 4 metros para la cámara delantera en caso de ser situada en la cabina o 1 metro en caso de situarse junto a los proyectores del vehículo.

Se utilizará una óptica de 25 mm. Los cálculos han sido realizados en el presente proyecto, en Anexo 1, punto 6.1.1.

### 2.8.1.3 Switch

Para alimentar las dos cámaras anteriores con el RJ45 se necesita utilizar PoE (Power over Ethernet). Se requieren un switch con PoE con las siguientes características:

-Capacidad de proporcionar una potencia de  $3,7 \text{ W}$  a cada cámara.

-Velocidad suficiente para la transmisión de las capturas.

Se propone utilizar un switch de  $62 \text{ W}$  y velocidad de  $100 \text{ Mbps}$ . Los cálculos han sido realizados en el presente proyecto, en Anexo 1, punto 6.1.2



#### 2.8.1.4 Ordenador

Para garantizar el buen funcionamiento del sistema se necesita un ordenador con las siguientes características:

- Suficiente potencia de cálculo para procesar a tiempo real las imágenes a color que proporciona la cámara.
- Volumen reducido, dado que el espacio disponible en la cabina es limitado.

Se ha elegido un ordenador con procesador i7 y 16 Gb de memoria RAM. Esto provee al sistema de la capacidad de ser ampliado en el futuro. Además, tiene un tamaño reducido si se compara con otros ordenadores del mercado con las mismas características 346,25x232,47x71,83 mm.

A continuación se muestra una imagen del ordenador seleccionado:



Ilustración 4 Ordenador para sistema de visión

La estimación de consumo de energía máximo de este ordenador para esta utilidad es de 312 W. El lenguaje de programación que se utilizaría queda justificado en el siguiente proyecto, en el Anexo 1, punto 6.1.8.

#### 2.8.1.5 Altavoces

En Europa, para la medición del ruido en el lugar del conductor se sigue la directiva 2009/76CE. Para medir el ruido en el puesto del conductor del vehículo, según la mencionada Directiva, se permiten como máximo 90 dB (A) medidos en las condiciones que marca la directiva en su Anexo I, y una amplitud de 86 dB(A) medidos en las condiciones marcadas en el Anexo II de ésta.

Dado que el valor obtenido en el estudio de los niveles promedio máximos de ruido en cabina para los tractores actuales es de 70 dB, se llega a la conclusión de que los altavoces instalados deben estar capacitados para dar la información auditiva con valores de entre 70 dB y 86 dB(A), para no ser ocultada por los propios ruidos del tractor ni sobrepasar la normativa de niveles de ruido máximos. Estudio cualitativo realizado en Anexo 1 del presente proyecto, en el punto 6.1.3. Posicionamiento de los altavoces estudiado en el Anexo 1, punto 6.1.9.

#### 2.8.1.6 Inversor

Para alimentar la cámara, ordenador y altavoces se podrían diseñar dos sistemas bien diferenciados, uno en el que la alimentación de tensión continua de la batería se adaptase mediante convertidores DC-DC a las necesidades de

cada componente o la instalación de un inversor que convirtiese la tensión DC de la batería a tensión similar a la de red. Se ha optado por la segunda opción para simplificar la solución. Para esta solución se necesita que el inversor tenga la capacidad de convertir 12 voltios de tensión continua de la batería en tensión alterna sinusoidal a niveles de tensión de 220/230V con frecuencia de 50 Herzios.

A continuación se muestra una imagen del inversor seleccionado:



**Ilustración 5 Inversor para sistema de Visión**

Se propone utilizar el Inversor del mercado capaz de convertir tensiones continuas de 12V a tensiones sinusoidales de 230V y 50 Hz, con una potencia de 1kW. El valor de eficiencia que pueden tener este tipo de inversores es de 82%.

#### **2.8.1.7 Batería**

En este diseño se ha decidido incluir en el tractor una batería adicional, cargable externamente, dado que las necesidades de energía son altas y el sistema de visión no deberían afectar al funcionamiento normal del tractor. El motivo principal es que si se utilizase la energía de la batería que contiene el tractor de serie, se podría llegar a la situación en la que el sistema dejase sin batería al vehículo.

Otros motivos son aislar el sistema del tractor de posibles armónicos generados por la electrónica que incluye el sistema de visión que se pretende incorporar. Además de dotar de la posibilidad de encender el sistema de visión sin tener que arrancar el tractor.

Se estima un consumo de potencia de 379 W, por lo que para que el sistema tenga la duración de una jornada laboral se necesitaría una batería de más de 253 Ah. Cálculos realizados en el Anexo 1 del presente proyecto, en el punto 6.1.4.

#### **2.8.1.8 Cableado**

-Se necesitarían 3 cables tipo RJ45 para conectar el ordenador y las cámaras al switch. La longitud de estos cables debería ser 5 metros o superior.

-Sección del cable de conexión del inversor con la batería de 10 mm<sup>2</sup> o superior. Con longitud superior a 5 metros. Los cálculos relativos al cableado han sido realizados en el Anexo 1 del presente proyecto, en el punto 6.1.5.

## **2.8.2 Sistema de sensores ultrasonidos y cámara infrarroja**

### **2.8.2.1 Sensores ultrasónicos**

En caso de situar la cámara frontal en la parte más delantera, véase Anexo 1 punto 6.1.6, se estima que para cubrir los puntos ciegos se podrían utilizar dos sensores ultrasónicos, uno para la zona ciega izquierda y otro para la zona derecha inmediatamente delantera a las ruedas. Las características que debe tener el sensor a utilizar son:

- Distancia de detección nominal de aproximadamente 2 metros.
- Robustez, pues debería poder trabajar en ambientes hostiles.
- Posibilidad de alimentación a 12 V

Se propone utilizar el sensor ultrasónico industrial dado que cumple todas las necesidades mencionadas. Su necesidad y posicionamiento se justifica en el Anexo 1 del presente proyecto, en el punto 6.1.7.

A continuación se muestra un sensor ultrasónico que cumple las características mencionadas:



Ilustración 6 Sensor de Ultrasonidos

### **2.8.2.2 PLC de control de sensores ultrasónicos**

Se necesita un equipo que recoja las señales externas de estos sensores y las procese, para esto se puede utilizar un microcontrolador o un PLC. Las necesidades para un equipo que cumpla estas funciones son:

- Debe tener entradas/salidas digitales suficientes para conectar los dos sensores. Siendo preferible un nivel superior de entradas por si el sistema se amplía. Por tanto, debe tener cuatro o más entradas/salidas digitales.
- Robustez para trabajar en ambientes adversos.

Se propone utilizar un PLC robusto, fácilmente programable y con entradas y salidas suficientes para el proyecto en cuestión. Para esta aplicación basta con 4 entradas/salidas digitales.

A continuación se muestra una imagen del modelo de PLC seleccionado:

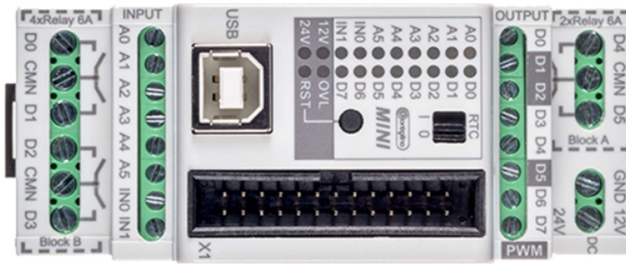


Ilustración 7 PLC para sistema de visión infrarroja con sensores de ultrasonidos

### 2.8.2.3 Cableado de PLC

Para la utilización del PLC será necesario el siguiente cableado:

- USB macho a Mini macho USB B. Para conectar el PLC al PC y transmitir datos.
- Dos cables XZCP1141L2, uno por cada sensor ultrasónico, para conectar los sensores con el PLC.
- Cableado para alimentación de 1mm.

### 2.8.3 Sistema Exclusivamente Ultrasonidos de Bajo Coste

#### 2.8.3.1 Sensores ultrasónicos

Para una solución exclusivamente de sensores ultrasónicos de bajo coste se estima que se necesitan mínimo 6 sensores para cubrir la detección de obstáculos tanto frontal como trasera. Las características que deben tener estos sensores a utilizar son:

- Distancia de detección nominal de aproximadamente 2 metros.
- Precisión mínima de 20 cm.
- Posibilidad de alimentación a 12 V
- Ángulo de medida de 30° o superior.

Para la verificación de funcionamiento de esta solución se han utilizado sensores de bajo coste. A continuación se muestra una imagen del modelo seleccionado:

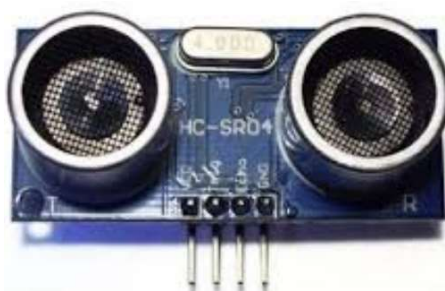


Ilustración 8 Sensor Ultrasonidos HC-SR04

Su posicionamiento se ha estudiado en el presente proyecto, en el Anexo 2, punto 6.2.2.

### 2.8.3.2 Microcontrolador de control de sensores ultrasónicos

Se necesita un equipo que recoja las señales externas de estos sensores y las procese, para esto se puede utilizar un microcontrolador. Las necesidades para un equipo que cumpla estas funciones son:

-Debe tener salidas digitales suficientes para conectar los seis sensores, un botón de desactivación del sistema y dos adicionales para enviar la señal de excitación a los piezoeléctrico. Siendo preferible un nivel superior de entradas por si el sistema se amplía. Por tanto, debe tener 15 o más entradas digitales.

-Posibilidad de alimentación a 7,4 V.

Se propone utilizar un Arduino UNO, por ser fácilmente programable y tener entradas y salidas suficientes para el proyecto en cuestión. A continuación se muestra una imagen del modelo mencionado:

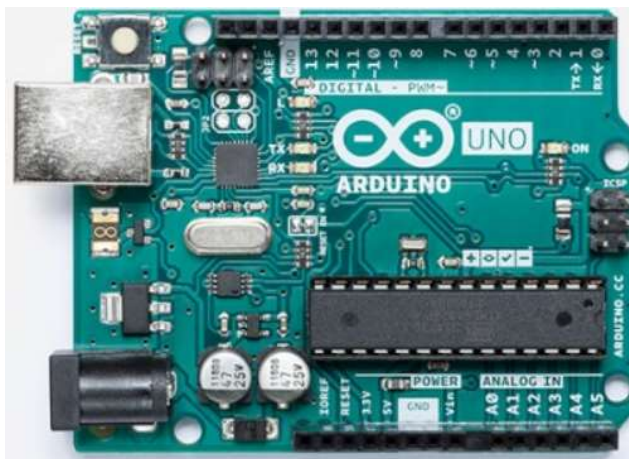


Ilustración 9 Arduino UNO REV 3

El software que se utiliza se puede encontrar en el presente proyecto en el Anexo 2, punto 6.2.4.

### 2.8.3.3 Piezoeléctricos

Para la emisión de las señales sonoras se utilizarán piezoeléctricos. La solución adoptada consiste en dos piezoeléctricos, ambos posicionados en el interior de la cabina del tractor; un piezoeléctrico se situará en la zona izquierda del piloto y otro en la derecha, de forma que se reduzca el tiempo de reacción emitiendo el sonido por la zona en la que se encuentra el obstáculo. Las características que estos deben tener son las siguientes:

- Nivel de sonido entre 70 dB y 86 dB(A).
- Tensión de alimentación igual o inferior a 12V.

A continuación se muestra una imagen del piezoeléctrico seleccionado:



Ilustración 10 Piezoeléctrico

El estudio del posicionamiento de los piezoeléctricos se realiza en el presente proyecto en el Anexo 2, en el punto 6.2.3.

### 2.8.3.3 Batería

En este diseño también se ha decidido incluir en el tractor una batería adicional, cargable externamente, para aislar las necesidades del vehículo de las necesidades del sistema de detección de obstáculos.

Los principales motivos son aislar el sistema del tractor de posibles armónicos generados por la electrónica que incluye el sistema de detección de obstáculos que se pretende incorporar. Además de dotar de la posibilidad de encender el sistema de detección de obstáculos sin tener que arrancar el tractor.

También se evita que en el momento de alta demanda de corriente por parte del vehículo se pueda desconectar el sistema de detección de obstáculos por déficit de corriente.

Se estima un consumo de potencia de 4 W, por lo que para que el sistema tenga la duración de una jornada laboral se necesitaría una batería de más de 4756,4 mAh y 7,4V.

A continuación, se muestra una imagen de la batería seleccionada:





Ilustración 11 Batería para sistema de bajo coste con sensores ultrasonidos

El estudio de la batería a utilizar se realiza en el presente proyecto, en el Anexo 2, en el punto 6.2.1.

#### 2.8.3.4 Carcasa de sensor HC-SR04

Para proteger los sensores y direccionarlos hacia el lugar deseado tras ser montado en el tractor se debe utilizar una carcasa. Esta carcasa debe cumplir los siguientes requisitos:

- Tener dimensiones aptas para el sensor HC-SR04 a utilizar.
- Capacidad de giro vertical.
- Capacidad de giro horizontal.

A continuación se muestra una imagen de la carcasa diseñada para el sistema proyectado:

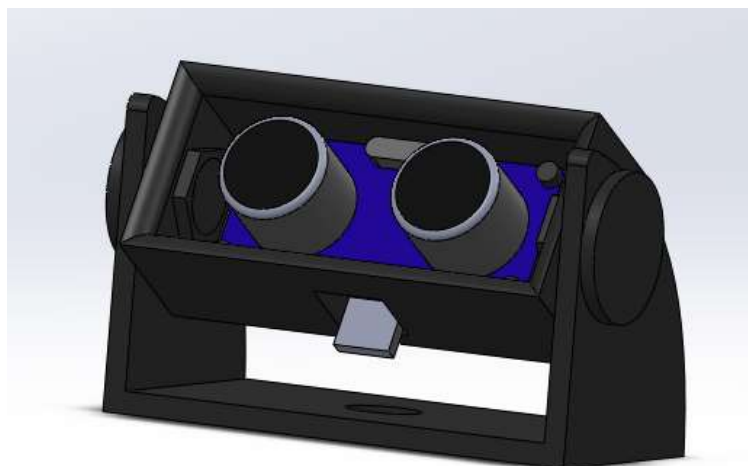


Ilustración 12 Carcasa diseñada para HC-SR04

Los planos del diseño de esta carcasa están en el punto 7 del presente proyecto (Planos del N° 2 al 7).

## 2.9 Aplicación de Técnicas de decisión multicriterio para selección de Proyecto

Se procede a aplicar técnicas de decisión multicriterio para decidir cuál de los proyectos estudiados debe desarrollarse. Para la aplicación de técnicas multicriterio se utilizarán como variables el coste presupuestado, el consumo de potencia y la probabilidad de riesgos negativos potenciales estimados.

La probabilidad de riesgos graves se valorará cualitativamente de la siguiente forma:

- 1- Baja
- 2- Media
- 3- Alta

Se ha decidido asignar al sistema de visión mediante cámaras infrarrojas el nivel Alto de riesgo por ser muy sensible a la suciedad y por la posibilidad de falsos negativos ante temperaturas ambientales similares a la del obstáculo o para cuerpos aislados térmicamente.

El sistema exclusivamente ultrasónico tiene asignada una probabilidad de riesgo Media por ser sensible a la suciedad, aunque al contrario del caso anterior existen menos restricciones respectivas a la temperatura de los obstáculos a detectar o si poseen aislamiento térmico.

Quedando la siguiente matriz multicriterio:

|                                       | Presupuesto<br>(Minimizar) | Consumo de<br>potencia<br>estimado<br>(Minimizar) | Probabilidad<br>de Riesgos<br>Graves<br>(Minimizar) |
|---------------------------------------|----------------------------|---------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Sistema con<br>cámaras<br>infrarrojas | 30.460,93 €                | 379 W                                             | 3                                                   |
| Sistema de<br>ultrasonidos            | 798,59 €                   | 4 W                                               | 2                                                   |

Tabla 1 Matriz multicriterio de selección de Proyecto

Los pesos se asignan en función de la importancia de cada variable, siendo el tiempo de procesamiento el más importante, ya que se pretenden procesar capturas de la forma más fluida posible:

|       | Presupuesto<br>(Minimizar) | Consumo de<br>potencia<br>estimado<br>(Minimizar) | Probabilidad<br>de Riesgos<br>Graves<br>(Minimizar) |
|-------|----------------------------|---------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Pesos | 7                          | 2                                                 | 10                                                  |

Tabla 2 Pesos para matriz multicriterio. Elaboración propia



A continuación, se procede a normalizar la matriz de decisión, dejando todos los valores comprendidos entre 0 y 1:

|                                 | Presupuesto | Consumo de potencia estimado | Probabilidad de Riesgos Graves |
|---------------------------------|-------------|------------------------------|--------------------------------|
| Sistema con cámaras infrarrojas | 0,026       | 0,01                         | 0,67                           |
| Sistema de ultrasonidos         | 1           | 1                            | 1                              |

Tabla 3 Matriz multicriterio normalizada. Elaboración propia

Tras ejecutar el algoritmo de elección multicriterio por Suma ponderada, Producto ponderado y Producto Ponderado Exponencial se obtiene la siguiente tabla de resultados:

|                                 | Suma Ponderada | Producto Ponderado | Producto Ponderado Exponencial |
|---------------------------------|----------------|--------------------|--------------------------------|
| Sistema con cámaras infrarrojas | 6,902          | 0,024              | $10^{-17}$                     |
| Sistema de ultrasonidos         | 19             | 140                | 1                              |

Tabla 4 Resultados obtenidos para distintos métodos de selección multicriterio. Elaboración propia

A la vista de los resultados obtenidos se concluye que el mejor sistema propuesto para su desarrollo es el Sistema de Ultrasonidos, dado que en los tres métodos se obtienen resultados más altos.



**UNIVERSIDAD DE JAÉN**  
*Escuela Politécnica Superior (Jaén)*

## **Planificación Económica y Temporal**

**SEPTIEMBRE, 2019**

## 2.10 Planificación

Para la solución adoptada del sistema exclusivamente de sensores ultrasonidos presentada en el punto 2.8.3, el desarrollo de los trabajos que se proyectan se puede realizar en el plazo de 51 días de trabajo útil según el plan que se muestra a continuación.

Para la generación de los siguientes gráficos y tablas se ha utilizado el software Microsoft Project, donde se han incluido las tareas, subtareas, recursos, costes y duraciones temporales. Se supondrá que el inicio del proyecto es el día 8 de julio de 2019.

En la siguiente tabla se muestra el desglose de tareas y subtareas:

| Nombre de tarea                     | Duración       | Comienzo            | Fin                 | Predecesoras |
|-------------------------------------|----------------|---------------------|---------------------|--------------|
| <b>1. Redacción del proyecto</b>    | <b>40 días</b> | <b>mar 08/07/19</b> | <b>vie 30/08/19</b> |              |
| <b>2. Adquisición de materiales</b> | <b>7 días</b>  | <b>lun 02/09/19</b> | <b>mar 10/09/19</b> | 1            |
| <b>3. Desarrollo de software</b>    | <b>3 días</b>  | <b>mié 11/09/19</b> | <b>vie 13/09/19</b> | 2            |
| 4. Programación de microcontrolador | 7 horas        | mié 11/09/19        | mié 11/09/19        | 2            |
| 5. Testing de programa              | 8 horas        | jue 12/09/19        | vie 13/09/19        | 4            |
| 6. Solución de incidencias          | 1 hora         | vie 13/09/19        | vie 13/09/19        | 5            |
| <b>7. Montaje del sistema</b>       | <b>1 día</b>   | <b>lun 16/09/19</b> | <b>lun 16/09/19</b> | 6            |
| 8. Montaje de instalación           | 3 horas        | lun 16/09/19        | lun 16/09/19        | 6            |

Tabla 5 Registro de tareas y subtareas. Elaboración propia

Se debe tener en cuenta que en las fechas se han descontado como días útiles de trabajo los fines de semana. Dando lugar al diagrama de Gantt siguiente:

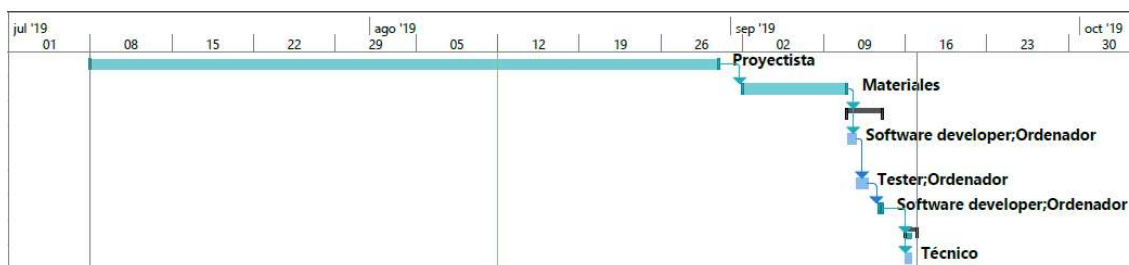


Ilustración 13 Diagrama de Gantt. Elaboración propia

Las horas útiles de trabajo de cada tarea se pueden comprobar visualmente en el siguiente gráfico de barras:

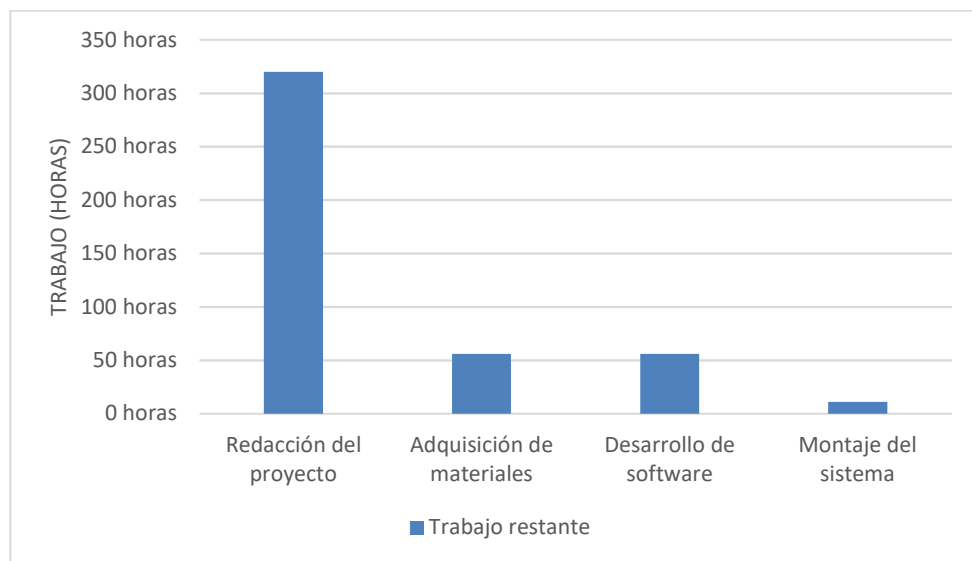


Ilustración 14 Horas útiles de trabajo por tarea. Elaboración propia

Los precios por hora asignados a cada recurso son los siguientes:

| Tarea                  | Coste    |
|------------------------|----------|
| Proyectista            | 14,5 €/h |
| Desarrollador software | 14,5 €/h |
| Tester                 | 13,9 €/h |
| Técnico                | 12 €/h   |

Tabla 6 Distribución de costes horarios por recurso. Elaboración propia

La distribución de los costes de cada tarea es la que se puede ver en la siguiente tabla:

| Tarea                     | Coste      |
|---------------------------|------------|
| Redacción del proyecto    | 4.640,00 € |
| Adquisición de materiales | 169,96 €   |
| Desarrollo de software    | 258,72 €   |
| Montaje del sistema       | 56,60 €    |

Tabla 7 Distribución de costes por tarea. Elaboración propia

En el siguiente diagrama de barras se muestra el desglose de costes por tarea a realizar:

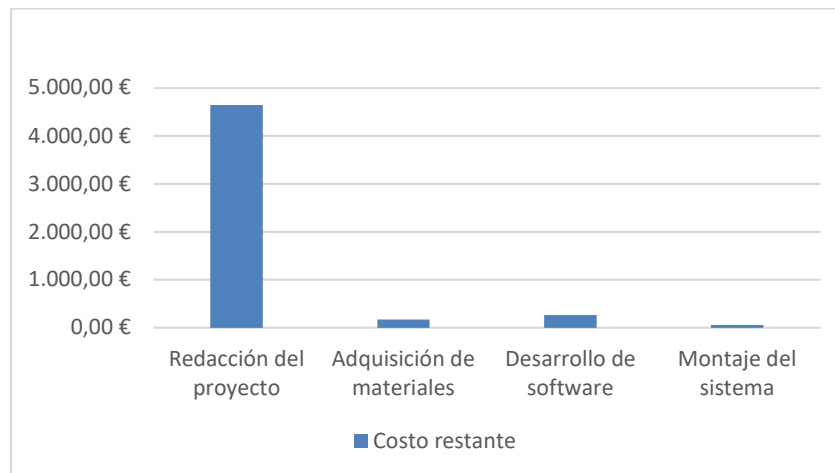


Ilustración 15 Costes por tarea a realizar. Elaboración propia

La representación gráfica de costes frente al tiempo es la siguiente:

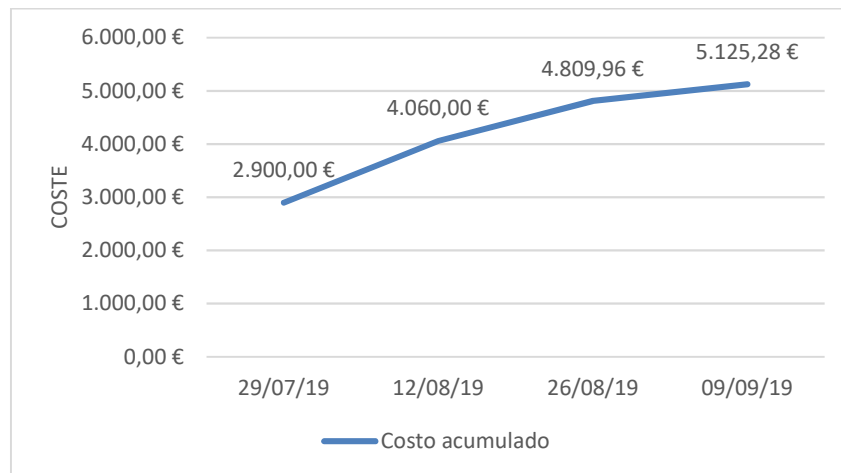


Ilustración 16 Evolución de costes en el proyecto. Elaboración propia

Siendo un coste total de 5.125,28 € para el diseño del proyecto, desarrollo de la solución y montaje.



**UNIVERSIDAD DE JAÉN**  
*Escuela Politécnica Superior (Jaén)*

## **Presupuestos**

**SEPTIEMBRE, 2019**

## 2.11 Presupuesto

### 2.11.1 Precios simples:

A continuación se muestra la tabla con el registro de todos los precios simples, con codificación y precios unitarios:

| Código | Concepto                                            | Precio Unitario |
|--------|-----------------------------------------------------|-----------------|
| PS1    | Switch con PoE: Digitus Professional DN 953200      | 41,31 €         |
| PS2    | Cámara infrarroja: Calibir 640 GIGE                 | 7.867,13 €      |
| PS3    | Ordenador: MSI Trident 3 8RC-210EU                  | 1.059,50 €      |
| PS4    | Altavoces: Woxter S026-055 BIG BASS                 | 12,39 €         |
| PS5    | Inversor 12V a 230V 50 Hz: A301-1k0-F3 con cableado | 129,56 €        |
| PS6    | Batería Monobloque: GEL ME 280 Ah                   | 326,45 €        |
| PS7    | Metro lineal de Cable de red                        | 0,54 €          |
| PS8    | Cabezal para cable RJ45                             | 0,12 €          |
| PS9    | Sensor ultrasónico 2m                               | 285,60 €        |
| PS10   | Controllino Mini                                    | 95,04 €         |
| PS11   | Metro lineal de Cable de sensor XZCP1141L2          | 4,80 €          |
| PS12   | Metro lineal de Cable 1mm                           | 0,16 €          |
| PS13   | Conector de acoplamiento de cableado                | 0,10 €          |
| PS14   | Sensor ultrasónico de bajo coste HC-SR04            | 3,17 €          |
| PS15   | Piezoeléctrico KX1606                               | 2,67 €          |
| PS16   | Batería Monobloque AGM UC-86-12                     | 132,45 €        |
| PS17   | Metro lineal de cable de 10 mm <sup>2</sup>         | 1,29 €          |
| PS18   | Batería Lipo 6000mAh                                | 30,58 €         |
| PS19   | Arduino UNO                                         | 19,13 €         |
| PS20   | Carcasa de PLA para sensor HC-SR04                  | 15 €            |
| PS21   | Interruptor de 3 pines                              | 1 €             |

Tabla 8 Precios simples de materiales. Datos obtenidos de fabricantes

En la siguiente tabla se pueden comprobar los precios simples de mano de obra y maquinaria, con codificación y precios unitarios:

| Código | Concepto  | Precio por hora |
|--------|-----------|-----------------|
| MO1    | Técnico   | 12 €/h          |
| MO2    | Developer | 14,5 €/h        |
| MO3    | Tester    | 13,9 €/h        |
| MAQ1   | Ordenador | 0.5 €/h         |

Tabla 9 Precios simples de Mano de Obra y Maquinaria. Elaboración propia

## 2.11.2 Presupuesto de solución de cámaras infrarrojas

A continuación, se muestra la justificación de precios con formato de Software Presto:

| CÓDIGO      | RESUMEN                                                                                                           | CANTIDAD | UD | PRECIO | SUBTOTAL | IMPORTE       |
|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|----|--------|----------|---------------|
| <b>1</b>    |                                                                                                                   |          |    |        |          |               |
| <b>1.01</b> | <b>INSTALACIÓN DE SOFTWARE</b>                                                                                    |          |    |        |          |               |
|             | Instalación del software para el PC y PLC para gestión de señales de cámaras, ultrasonidos y manejo de altavoces. |          |    |        |          |               |
| <b>MO2</b>  | Developer                                                                                                         | 40       | h  | 14,5   | 580      |               |
| <b>MO3</b>  | Tester                                                                                                            | 8        | h  | 13,9   | 111,2    |               |
| <b>MAQ1</b> | Ordenador                                                                                                         | 48       | h  | 0,5    | 24       |               |
|             | +10% de gastos indirectos.....                                                                                    |          |    |        | 71,52    |               |
|             | <b>TOTAL PARTIDA.....</b>                                                                                         |          |    |        |          | <b>786,72</b> |

Tabla 10 Justificación de precios para instalación de software de cámaras infrarrojas. Elaboración propia

| CÓDIGO      | RESUMEN                                       | CANTIDAD | UD | PRECIO  | SUBTOTAL | IMPORTE          |
|-------------|-----------------------------------------------|----------|----|---------|----------|------------------|
| <b>1</b>    |                                               |          |    |         |          |                  |
| <b>1.02</b> | <b>MONTAJE DEL SISTEMA COMPLETO</b>           |          |    |         |          |                  |
|             | Montaje del sistema físico completo           |          |    |         |          |                  |
| <b>PS1</b>  | Switch con PoE Digitus Professional DN 953200 | 1        | u  | 41,31   | 41,31    |                  |
| <b>PS2</b>  | Cámara infrarroja:<br>Calibr 640 GIGE         | 2        | u  | 7867,13 | 15734,26 |                  |
| <b>PS3</b>  | Ordenador:<br>MSI Trident 3 8RC-210EU         | 1        | u  | 1059,50 | 1059,50  |                  |
| <b>PS4</b>  | Altavoces:<br>Woxter S026-055 BIG BASS        | 1        | u  | 12,39   | 12,39    |                  |
| <b>PS5</b>  | Inversor 12V a 230V 50 Hz:<br>A301-1k0-F3     | 1        | u  | 129,56  | 129,56   |                  |
| <b>PS6</b>  | Batería Monobloque GEL ME 280 Ah              | 1        | u  | 326,45  | 326,45   |                  |
| <b>PS7</b>  | Metro lineal de Cable de red                  | 25       | m  | 0,54    | 13,43    |                  |
| <b>PS8</b>  | Cabezal para cable RJ45                       | 6        | u  | 0,12    | 0,74     |                  |
| <b>PS13</b> | Conector de acoplamiento de cableado          | 4        | u  | 0,10    | 0,40     |                  |
| <b>PS17</b> | Metro lineal de Cable de 10 mm <sup>2</sup>   | 2        | m  | 1,29    | 2,58     |                  |
| <b>MO1</b>  | Técnico                                       | 3        | h  | 12,00   | 36,00    |                  |
|             | +10% de gastos indirectos.....                |          |    |         | 1.735,66 |                  |
|             | <b>TOTAL PARTIDA.....</b>                     |          |    |         |          | <b>19.092,28</b> |

Tabla 11 Justificación de precios para montaje de sistema de cámaras infrarrojas. Elaboración propia

### Resumen de Presupuesto:

| <b>RESUMEN DE PRESUPUESTO</b> |                                               |                  |
|-------------------------------|-----------------------------------------------|------------------|
| CAPÍTULO                      | RESUMEN                                       | IMPORTE          |
| 01                            | INSTALACIÓN DE SOFTWARE.....                  | 786,72           |
| 02                            | MONTAJE DE INSTALACIÓN.....                   | 19.092,28        |
|                               | <b>PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL</b>      | <b>19.879,00</b> |
|                               | 16,00 % Gastos generales.....                 | 3.180,64         |
|                               | 6,00 % Beneficio industrial .....             | 1.192,74         |
|                               | Suma.....                                     | 4.373,38         |
|                               | <b>PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN SIN IVA</b> | <b>24.252,38</b> |
|                               | %21 IVA.....                                  | 5.093,00         |
|                               | <b>PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN</b>         | <b>29.345,38</b> |

Tabla 12 Resumen de presupuesto de sistema de cámaras infrarrojas. Elaboración propia

Asciende el presupuesto total del presente Proyecto a la cantidad de VEINTI NUEVE MIL TRESCIENTOS CUARENTA Y CINCO EUROS CON TREINTA Y OCHO CÉNTIMOS.



### 2.11.3 Presupuesto de solución de cámaras infrarrojas complementado con sensores ultrasonidos

A continuación, se muestra la justificación de precios con formato de Software Presto:

| CÓDIGO | RESUMEN                                                                                                           | CANTIDAD | UD | PRECIO | SUBTOTAL | IMPORTE       |
|--------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|----|--------|----------|---------------|
| 1      |                                                                                                                   |          |    |        |          |               |
| 1.01   | <b>INSTALACIÓN DE SOFTWARE</b>                                                                                    |          |    |        |          |               |
|        | Instalación del software para el PC y PLC para gestión de señales de cámaras, ultrasonidos y manejo de altavoces. |          |    |        |          |               |
| MO2    | Developer                                                                                                         | 40       | h  | 14,5   | 580      |               |
| MO3    | Tester                                                                                                            | 8        | h  | 13,9   | 111,2    |               |
| MAQ1   | Ordenador                                                                                                         | 48       | h  | 0,5    | 24       |               |
|        | +10% de gastos indirectos.....                                                                                    |          |    |        | 71,52    |               |
|        | <b>TOTAL PARTIDA.....</b>                                                                                         |          |    |        |          | <b>786,72</b> |

Tabla 13 Justificación de precios para instalación de software de cámaras infrarrojas y ultrasonidos. Elaboración propia

| CÓDIGO | RESUMEN                                       | CANTIDAD | UD | PRECIO  | SUBTOTAL | IMPORTE          |
|--------|-----------------------------------------------|----------|----|---------|----------|------------------|
| 1      |                                               |          |    |         |          |                  |
| 1.02   | <b>MONTAJE DEL SISTEMA COMPLETO</b>           |          |    |         |          |                  |
|        | Montaje del sistema físico completo           |          |    |         |          |                  |
| PS1    | Switch con PoE Digitus Professional DN 953200 | 1        | u  | 41,31   | 41,31    |                  |
| PS2    | Cámara infrarroja: Calibr 640 GIGE            | 2        | u  | 7867,13 | 15734,26 |                  |
| PS3    | Ordenador: MSI Trident 3 8RC-210EU            | 1        | u  | 1059,50 | 1059,50  |                  |
| PS4    | Altavoces: Woxter S026-055 BIG BASS           | 1        | u  | 12,39   | 12,39    |                  |
| PS5    | Inversor 12V a 230V 50 Hz: A301-1k0-F3        | 1        | u  | 129,56  | 129,56   |                  |
| PS6    | Batería Monobloque GEL ME 280 Ah              | 1        | u  | 326,45  | 326,45   |                  |
| PS7    | Metro lineal de Cable de red                  | 25       | m  | 0,54    | 13,43    |                  |
| PS8    | Cabezal para cable RJ45                       | 6        | u  | 0,12    | 0,74     |                  |
| PS9    | Sensor ultrasónico 2m                         | 2        | u  | 285,60  | 571,19   |                  |
| PS10   | Controllino Mini                              | 1        | u  | 95,04   | 95,04    |                  |
| PS11   | Cable de sensor XZCP1141L2                    | 4        | u  | 4,80    | 19,19    |                  |
| PS12   | Metro lineal de Cable 1mm                     | 10       | u  | 0,16    | 1,57     |                  |
| PS13   | Conector de acoplamiento de cableado          | 4        | u  | 0,10    | 0,40     |                  |
| PS17   | Metro lineal de Cable de 10 mm <sup>2</sup>   | 2        | m  | 1,29    | 2,58     |                  |
| MO1    | Técnico                                       | 3        | h  | 12,00   | 36,00    |                  |
|        | +10% de gastos indirectos.....                |          |    |         | 1.804,36 |                  |
|        | <b>TOTAL PARTIDA.....</b>                     |          |    |         |          | <b>19.847,97</b> |

Tabla 14 Justificación de precios para montaje de sistema de cámaras infrarrojas y ultrasonidos. Elaboración propia

Resumen de Presupuesto:

| RESUMEN DE PRESUPUESTO |                                               |                  |
|------------------------|-----------------------------------------------|------------------|
| CAPÍTULO               | RESUMEN                                       | IMPORTE          |
| 01                     | INSTALACIÓN DE SOFTWARE.....                  | 786,72           |
| 02                     | MONTAJE DE INSTALACIÓN.....                   | 19.847,97        |
|                        | <b>PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL</b>      | <b>20.634,69</b> |
|                        | 16,00 % Gastos generales.....                 | 3.301,55         |
|                        | 6,00 % Beneficio industrial .....             | 1.238,08         |
|                        | Suma.....                                     | 4.539,63         |
|                        | <b>PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN SIN IVA</b> | <b>25.174,32</b> |
|                        | %21 IVA.....                                  | 5.286,61         |
|                        | <b>PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN</b>         | <b>30.460,93</b> |

Tabla 15 Resumen de presupuesto de sistema de cámaras infrarrojas y ultrasonidos. Elaboración propia

Asciende el presupuesto total del presente Proyecto a la cantidad de TREINTA MIL CUATROCIENTOS SESENTA EUROS CON NOVENTA Y TRES CÉNTIMOS.

#### 2.11.4 Presupuesto de solución exclusivamente de sensores ultrasonidos de bajo coste

A continuación, se muestra la justificación de precios con formato de Software Presto:

| CÓDIGO | RESUMEN                                                                                                                           | CANTIDAD | UD | PRECIO | SUBTOTAL | IMPORTE       |
|--------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|----|--------|----------|---------------|
| 2      |                                                                                                                                   |          |    |        |          |               |
| 2.01   | <b>INSTALACIÓN DE SOFTWARE</b>                                                                                                    |          |    |        |          |               |
|        | Instalación del software en el microcontrolador para gestión de señales de los sensores ultrasonidos y manejo de piezoeléctricos. |          |    |        |          |               |
| MO2    | Developer                                                                                                                         | 8        | h  | 14,5   | 116      |               |
| MO3    | Tester                                                                                                                            | 8        | h  | 13,9   | 111,2    |               |
| MAQ1   | Ordenador                                                                                                                         | 16       | h  | 0,5    | 8        |               |
|        | +10% de gastos indirectos.....                                                                                                    |          |    |        | 23,52    |               |
|        | <b>TOTAL PARTIDA.....</b>                                                                                                         |          |    |        |          | <b>258,72</b> |

Tabla 16 Justificación de precios para instalación de software en sistema de ultrasonidos. Elaboración propia

| CÓDIGO | RESUMEN                                  | CANTIDAD | UD | PRECIO | SUBTOTAL | IMPORTE       |
|--------|------------------------------------------|----------|----|--------|----------|---------------|
| 2      |                                          |          |    |        |          |               |
| 2.02   | <b>MONTAJE DEL SISTEMA COMPLETO</b>      |          |    |        |          |               |
|        | Montaje del sistema físico completo      |          |    |        |          |               |
| PS18   | Batería Lipo 6000mAh                     | 1        | u  | 30,58  | 30,58    |               |
| PS15   | Piezoeléctrico KX1606                    | 2        | u  | 2,67   | 5,34     |               |
| PS14   | Sensor ultrasónico de bajo coste HC-SR04 | 6        | u  | 3,17   | 19,04    |               |
| PS12   | Metro lineal de Cable 1mm                | 10       | u  | 0,16   | 1,57     |               |
| PS19   | Arduino UNO                              | 1        | u  | 19,13  | 19,13    |               |
| PS20   | Carcasa de PLA para sensor HC-SR04       | 6        | u  | 15     | 90       |               |
| PS13   | Conector de acoplamiento de cableado     | 33       | u  | 0,10   | 3,3      |               |
| PS21   | Interruptor de 3 pines                   | 1        | u  | 1      | 1        |               |
| MO1    | Técnico                                  | 3        | h  | 12     | 36,00    |               |
|        | +10% de gastos indirectos.....           |          |    |        | 20,60    |               |
|        | <b>TOTAL PARTIDA.....</b>                |          |    |        |          | <b>226,56</b> |

Tabla 17 Justificación de precios de montaje de sistema de ultrasonidos. Elaboración propia

Resumen del presupuesto:

| RESUMEN DE PRESUPUESTO |                                               |       |               |
|------------------------|-----------------------------------------------|-------|---------------|
| CAPÍTULO               | RESUMEN                                       |       | IMPORTE       |
| 01                     | INSTALACIÓN DE SOFTWARE.....                  |       | 258,72        |
| 02                     | MONTAJE DE INSTALACIÓN.....                   |       | 226,56        |
|                        | <b>PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL</b>      |       | <b>485,28</b> |
|                        | 16,00 % Gastos generales.....                 | 77,65 |               |
|                        | 20,00 % Beneficio industrial .....            | 97,06 |               |
|                        | Suma.....                                     |       | 174,71        |
|                        | <b>PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN SIN IVA</b> |       | <b>659,99</b> |
|                        | %21 IVA.....                                  |       | 138,60        |
|                        | <b>PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN</b>         |       | <b>798,59</b> |

Tabla 18 Resumen de presupuesto para solución de ultrasonidos. Elaboración propia

Asciende el presupuesto total del presente Proyecto a la cantidad de SETECIENTOS NOVENTA Y OCHO EUROS CON CINCUENTA Y NUEVE CÉNTIMOS.



**UNIVERSIDAD DE JAÉN**  
*Escuela Politécnica Superior (Jaén)*

## **GESTIÓN DE RIESGOS**

**SEPTIEMBRE, 2019**

## 2.12 Gestión de Riesgos

La Guía de Dirección de proyectos del PMI (PMBok) define el riesgo de un proyecto como “un evento o condición incierta que, de producirse, tiene un efecto positivo o negativo en uno o más de los objetivos del proyecto”.

Asimismo, la Norma UNE-EN 62198 “Gestión de riesgos del proyecto. Directrices de aplicación” define el riesgo como: “efecto de la incertidumbre sobre el cumplimiento de los objetivos del proyecto”.

A lo largo del ciclo de vida del proyecto, la probabilidad de ocurrencia del riesgo disminuye al haber menor incertidumbre asociada al proyecto, aunque las consecuencias del evento de riesgo serán cada vez más costosas de recuperar, como se muestra en la siguiente imagen obtenida de los apuntes de la asignatura de Dirección y Gestión de Proyectos de Máster en Ingeniería Industrial:

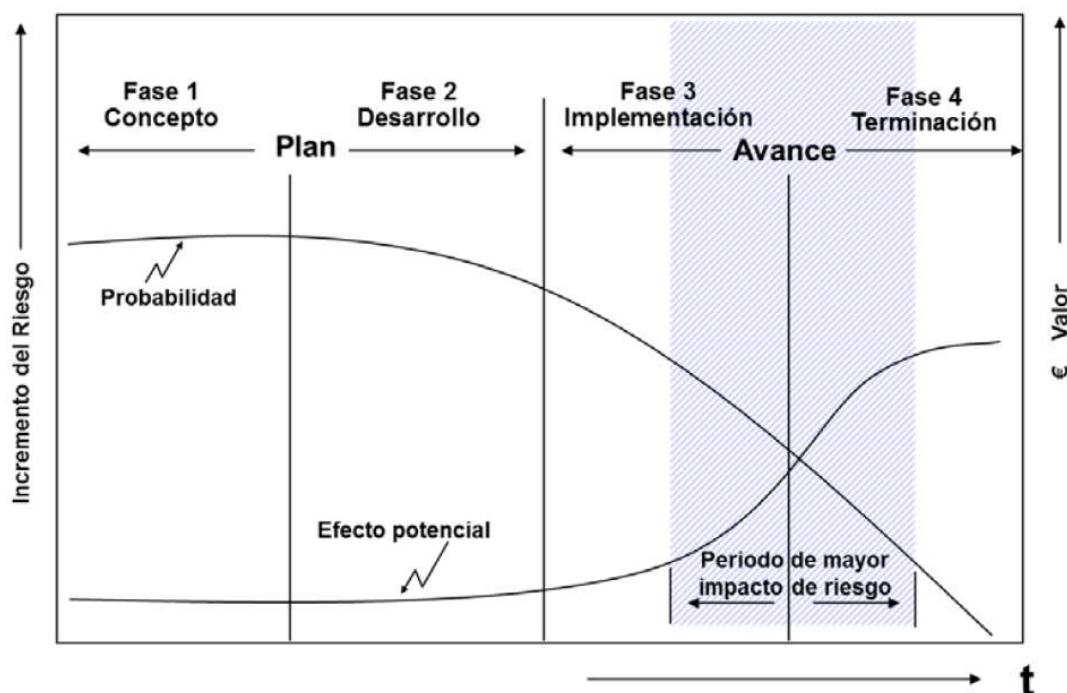


Ilustración 17 Riesgo en el ciclo de vida del Proyecto. Apuntes de Dirección y Gestión de Proyectos

### 2.12.1 Registro de riesgos identificados

A continuación se muestra una tabla con los riesgos internos del proyecto que pueden afectar el correcto desarrollo del proyecto realizado:

| Nº de referencia | Descripción del problema                                                                                        | Riesgo                      | Causa Raíz                            |
|------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|
| R1               | Posibilidad de que animales se encuentren excesivamente cerca del tractor y se sitúen en puntos ciegos donde el | Mala detección del sistema. | Limitaciones de detección del sistema |

|    |                                                                                                               |                                    |                                                                                      |
|----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
|    | arco de detección no es demasiado extenso.                                                                    |                                    |                                                                                      |
| R2 | Posibilidad de existencia de suciedad en los sensores ultrasonidos que perjudique la detección de obstáculos. | Mala detección del sistema.        | Suciedad                                                                             |
| R3 | Riesgo de bajas ventas debidas a la localización de explotación del proyecto.                                 | Ventas inferiores a las esperadas. | Pobreza en la región de explotación del Proyecto                                     |
| R4 | Posibilidad de ventas superiores a las esperadas por localización en lugar con alta tradición agricultora.    | Ventas superiores a las esperadas. | Región de explotación del Proyecto con agricultura muy extendida.                    |
| R5 | Posibilidad de aumento de ventas por el grado de innovación en industria del tractor.                         | Ventas superiores a las esperadas. | Sistemas de retroalimentación auditiva con poco desarrollo en el mercado del tractor |

Tabla 19 Registro de riesgos internos identificados. Elaboración propia

La siguiente tabla muestra los riesgos externos, derivados de situaciones externas al proyecto, fuera del alcance de la gestión del Proyecto:

| Nº de referencia | Descripción del problema                                                | Riesgo                                     | Causa Raíz                                                    |
|------------------|-------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| R6               | Posible aumento de impuestos al consumo u otros tributos.               | Encarecimiento del Proyecto.               | Decisión política para aumentar gasto público o cubrir deuda. |
| R7               | Posible entrada en recesión según los indicadores macroeconómicos.      | Posibilidad de reducción de ventas.        | Conflicto comercial entre EEUU y China.                       |
| R8               | Posibilidad de aumento de restricciones para homologación de tractores. | El proyecto puede dejar de ser válido      | Cambios legislativos                                          |
| R9               | Posibilidad de aparición de grandes competidores.                       | El proyecto puede dejar de ser competitivo | Existen grandes empresas con capacidad de realizar            |

|     |                                    |                                                                             |                                                       |
|-----|------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
|     |                                    |                                                                             | economía de escala.                                   |
| R10 | Posible incremento de la inflación | Disminución del poder adquisitivo de compradores y beneficios del Proyecto. | Incremento de oferta monetaria por encima de demanda. |

Ilustración 18 Registro de riesgos externos identificados. Elaboración Propia

### 2.12.2 Análisis cualitativo de riesgos

Se utiliza la matriz de riesgos para realizar un análisis cualitativo del registro de riesgos internos identificados. A continuación se muestra la tabla de matriz de riesgos obtenida de los apuntes de la asignatura Dirección y Gestión de Proyectos del Master de Ingeniería Industrial:

| Matriz Riesgos |   | Consecuencia |             |             |                |                |
|----------------|---|--------------|-------------|-------------|----------------|----------------|
|                |   | Desastre     | Severo      | Serio       | Considerable   | Insignificante |
| Frecuencia     |   | 5            | 4           | 3           | 2              | 1              |
| Muy Probable   | 5 | Inaceptable  | Inaceptable | Inaceptable | No deseado     | No deseado     |
| Probable       | 4 | Inaceptable  | Inaceptable | No deseado  | No deseado     | Aceptable      |
| Ocasional      | 3 | Inaceptable  | No deseado  | No deseado  | Aceptable      | Aceptable      |
| Improbable     | 2 | No deseado   | No deseado  | Aceptable   | Aceptable      | Insignificante |
| Muy Improbable | 1 | No deseado   | Aceptable   | Aceptable   | Insignificante | Insignificante |

Ilustración 19 Matriz de riesgos. *Apuntes de Dirección y Gestión De Proyectos de Máster en Ingeniería Industrial*

La aplicación de la matriz previa al registro de riesgos internos identificados es la siguiente:

| Nº de referencia | Frecuencia | Consecuencia | Resultado  |
|------------------|------------|--------------|------------|
| R1               | 4          | 3            | No deseado |
| R2               | 5          | 2            | No deseado |

Tabla 20 Aplicación de matriz de riesgos al registro de riesgos identificados. Elaboración propia

Dado que los riesgos R3 y R4 dependen de la localización de explotación del proyecto, no se ha añadido a la tabla anterior. De la misma

manera, tampoco se ha añadido el riesgo R5, dado no se puede cuantificar la frecuencia del riesgo.

### 2.12.3 Análisis cuantitativo de riesgos

Para valorar y evaluar el riesgo de forma cuantitativa se hace uso del indicador 'Impacto de riesgo', que relaciona la probabilidad de ocurrencia y las consecuencias del evento. Se realiza este estudio para los riesgos de mayor impacto.

$$IR = Probabilidad\ de\ ocurrencia * Pérdida\ asociada$$

La recopilación de la información se ha realizado mediante entrevista. El perfil del entrevistado es:

Persona de la provincia de Jaén, con cerca de 40 años de experiencia en trabajos agrarios, utilización de tractores y otros tipos de maquinaria agrícola.

|                                                                  |                  |
|------------------------------------------------------------------|------------------|
| Riesgo de que se acerquen animales a menos de 1 metro al tractor | 2 de cada 7 días |
| Consecuencias de que se acerquen animales                        | 0 incidentes     |
| Riesgo de alta suciedad del sistema                              | Todos los días   |
| Incidentes por falta de visibilidad                              | 1 en 10 años     |

Tabla 21 Datos recogidos mediante entrevista respecto a riesgos identificados. Elaboración propia

Riesgo R1:

Dado que el riesgo de que se acerquen animales a menos de 1 metro del tractor es de 2 ocasiones cada 6 días, y que se han tenido 0 incidentes debidos a estas causas el índice de riesgo es el siguiente:

$$IR = \frac{2}{7} * 0 = 0 \frac{\text{incidentes por animal}}{\text{día}}$$

Riesgo R2:

Dado que siempre que se utiliza el tractor se ensucia de polvo o barro y que el conductor ha tenido un solo incidente debido a baja visibilidad en 10 años, el índice de riesgo es el siguiente:

$$IR = 1 * \frac{1}{10 * 365} = 0,0003 \frac{\text{incidentes por baja visibilidad}}{\text{día}}$$



**2.12.4 Registro de respuestas potenciales ante riesgos identificados**

A continuación se muestra una tabla con las posibles medidas potenciales para corregir los riesgos negativos identificados y fomentar la aparición de los riesgos positivos:

| Nº de referencia | Descripción de medida correctiva                                                |
|------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| R1               | Aumento de cantidad de sensores.                                                |
| R1               | Cambio de tipo de sensores.                                                     |
| R2               | Adición de sistema para protección contra la suciedad.                          |
| R2               | Realización de mantenimiento periódico.                                         |
| R3               | Explotar del Proyecto en un lugar con prosperidad económica.                    |
| R4               | Explotación del Proyecto en un lugar con alta tradición agricultora.            |
| R5               | Realización de sondeos de mercado periódicos para mantener ventaja competitiva. |

Tabla 22 Registro de respuestas potenciales a los riesgos identificados.  
Elaboración propia



**UNIVERSIDAD DE JAÉN**  
*Escuela Politécnica Superior (Jaén)*

## **RESULTADOS**

**SEPTIEMBRE, 2019**

### 3. Resultados

Se procede a presentar los resultados obtenidos para el programa de necesidades expuesto en el punto 2.6, las bases de cálculo del punto 2.7 y la solución estudiada de sensores ultrasonidos, microcontrolador y utilización de piezoeléctricos recogida en el punto 2.8.3 del presente proyecto.

Solución elegida por ser la más competitiva económicamente, tener mayor autonomía y estar menos limitada en lo respectivo a detección de obstáculos, se han obtenido los siguientes resultados:

|                                                                          |                   |
|--------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| Ángulo límite horizontal de medición unitario                            | 51,89 °           |
| Ángulo límite vertical de medición unitario                              | 29,95 °           |
| Error relativo en distancia de medidas realizadas                        | 3,33 %            |
| Tiempo de reacción de los sensores                                       | 12 ms             |
| Velocidad media de software de detección de obstáculos                   | 235 ms            |
| Tiempo total de reacción del sistema                                     | 247 ms            |
| Autonomía del sistema                                                    | Superior a 11,1 h |
| Notificación sonora en función de posición de objeto                     | Se cumple.        |
| Cobertura del ancho completo del tractor utilizado como base de cálculo. | Se cumple.        |

Tabla 23 Principales resultados obtenidos. Elaboración propia



**UNIVERSIDAD DE JAÉN**  
*Escuela Politécnica Superior (Jaén)*

## **ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS**

**SEPTIEMBRE, 2019**

## 4. Análisis de los Resultados

### 4.1 Análisis de Normativa

La solución que se adopta finalmente es la del sistema exclusivamente de ultrasonidos, presentada anteriormente en el punto 2.8.3. Se justifica que la solución adoptada es correcta por el cumplimiento de la reglamentación que le afecta.

#### 4.1.1 Real Decreto 286/2006

El sistema proyectado emite unos niveles de presión acústica de 74,2 dB medidos a 10 cm de los piezoeléctricos, si se suman a los niveles máximos de la cabina se obtiene un valor de 75,6 dB (véase Anexo 4, punto 6.4.1.1), valores inferiores a los niveles de presión sonora que aparecen en el Real Decreto 286/2006 sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición al ruido. BOE nº 60-11-03-2006. Siendo los valores límite marcados en el mencionado Real Decreto los siguientes:

Valores límite de exposición:

Nivel de exposición diario equivalente de 87 dB(A) y valores de pico 140 dB (C).

Valores superiores de exposición que dan lugar a una acción:

Nivel de exposición diario equivalente de 85 dB(A) y valores de pico de 137 dB (C).

Valores inferiores de exposición que dan lugar a una acción:

Nivel de exposición diario equivalente de 80 dB(A) y valores de pico de 135 dB (C).

Dado que los niveles sonoros máximos emitidos por los piezoeléctricos junto con el ruido ya existente en la cabina del tractor mediano son de 75,6 dB (75,4 dB(A) y 74,8 dB(C)), se cumple con este Real Decreto.

#### 4.1.2 Directiva 2009/76CE

La Directiva 2009/76CE marca límites para la aceptación de matriculación, venta y puesta en circulación por motivos relacionados con el nivel sonoro en los oídos del conductor. No se debe sobrepasar los siguientes límites:

- 86 dB(A) medidos en las condiciones marcadas en el Anexo II de ésta.
- 90 dB (A) medidos en las condiciones que marca la directiva en su Anexo I.

Dado que los niveles sonoros máximos emitidos por los piezoeléctricos junto con el ruido ya existente en la cabina del tractor mediano son de 75,6 dB (75,4 dB(A)), se cumple con esta directiva.

#### 4.1.3 Directiva 2009/63CE

La Directiva 2009/63 CE marca los límites de ruido que debe emitir un tractor, en dicha directiva se marca que no se deberán sobrepasar los límites siguientes:

-89 dB(A) para los tractores que tengan un peso en vacío superior a 1,5 toneladas.

-85 dB(A) para los tractores que tengan un peso en vacío inferior o igual a 1,5 toneladas.

Medidas tomadas según las condiciones del Anexo 6 de la mencionada directiva, en el punto 1.3.

Dado que los niveles sonoros máximos emitidos por los piezoeléctricos junto con el ruido ya existente en la cabina del tractor mediano son de 75,6 dB (75,4 dB(A)), se cumple con esta directiva.

#### 4.2 Análisis técnico

Se esperaba que el diseño proporcionase una presión sonora superior a 70 dB para superar los propios ruidos del vehículo y 86 dB(A) para poder ser audible sin sobrepasar los niveles fijados por las normativas. Dado que el valor obtenido es de 75,4 dB (A) se cumple esta especificación técnica.

Dado que en el estudio psicológico *Sound localization: Information Theory Analysis* se llega a la conclusión de que los tiempos de respuesta del receptor se incrementan en situaciones en las que el sonido es emitido simétricamente desde delante y detrás, se decidió utilizar sólo dos lugares de emisión del sonido, ángulo frontal izquierdo y frontal derecho. De esta forma se optimiza el tiempo desde que se detecta el obstáculo hasta que el conductor puede aplicar una medida correctiva.

Se estimaba necesario que los sensores tuviesen un ángulo de medida de aproximadamente 30° para lograr cumplir con la visión frontal y trasera completamente. Tras realizar los ensayos se comprueba que el ángulo obtenido es de 51,89° para en el plano horizontal del sensor y 28,95° para el plano vertical del sensor.

Se comprueba que, para cuerpos pequeños, de aproximadamente 5x12cm a más de 30 cm de distancia, no existe detección. Lo cual no es negativo, ya que de lo contrario podrían darse falsos positivos para obstáculos tan pequeños.

Se ha comprobado que la detección es buena para cuerpos de distintas formas y materiales, dado que se han realizado pruebas para cuerpos cilíndricos, irregulares y planos.

Se ha validado que el sonido se emite en función de la posición del obstáculo. Si el obstáculo se acerca por la izquierda, el sonido se emite por el piezoeléctrico de la izquierda; si el obstáculo está en la zona derecha, el sonido se emite por la zona de recha; en el caso de que el obstáculo se encuentre en la zona central frontal o posterior el sonido se emite en ambos lados.

Se estima a continuación el tiempo total desde que aparece un obstáculo hasta que el conductor realiza la medida correctiva.

Tiempo del sistema diseñado:

|                                                        |        |
|--------------------------------------------------------|--------|
| Tiempo de reacción de los sensores                     | 12 ms  |
| Velocidad media de software de detección de obstáculos | 235 ms |

Tabla 24 Tiempo utilizado por el sistema diseñado. Elaboración propia

Tiempo de reacción consumido por el conductor desde que se encuentra peligro inesperado en la carretera según estudio realizado por *Najm, Morener, Koziol, Wang & Knipling* en 1995:

|                                                    |        |
|----------------------------------------------------|--------|
| Tiempo modal de respuesta de conductor sorprendido | 1,07 s |
| Tiempo medio de respuesta de conductor sorprendido | 1,3 s  |
| Dispersión del tiempo de respuesta del conductor   | 0,49 s |

Tabla 25 Tiempo de reacción de conductor ante peligro inesperado (*Najm, Morener, Koziol, Wang & Knipling. 1995*)

Tiempo utilizado por el conductor desde que se encuentra peligro inesperado en la carretera según estudio realizado por *Olson & Sivak* en 1986:

|                                                     |        |
|-----------------------------------------------------|--------|
| Tiempo máximo de respuesta de conductor sorprendido | 1,76 s |
| Tiempo medio de respuesta de conductor sorprendido  | 0,81 s |

Tabla 26 Tiempo de reacción de conductor ante peligro inesperado (*Olson & Sivak. 1986*)

Utilizando los valores más conservadores para el conductor medio con máxima dispersión (*Najm, Mironer, Koziol, Wang & Knipling*), el tiempo máximo estimado de corrección ante aparición de obstáculo es de 2,04s:

|                                                    |                |
|----------------------------------------------------|----------------|
| Tiempo del sistema                                 | 247 ms         |
| Tiempo medio de respuesta de conductor sorprendido | 1,3 s + 0,49 s |
| Tiempo total                                       | 2,04 s         |

Tabla 27 Tiempo estimado total de corrección ante aparición de obstáculo. .  
Elaboración propia

El error medio obtenido en las medidas es inferior al 2%, esto es extrapolado para la distancia máxima de 2 metros, 4 cm de error.

La autonomía calculada es de 11,1 horas de trabajo, pero dado que se ha calculado de forma sobredimensionada, la duración debe ser mucho mayor. Es posible aumentar la autonomía fácilmente sustituyendo la batería por otra con las mismas características de tensión.

### 4.3 Análisis económico

Se ha procedido a realizar un estudio de viabilidad económica y financiera, como se muestra en el Anexo 4, punto 6.4.2. Los indicadores obtenidos muestran que para los 5 años a los que se espera que se amortice el proyecto, la inversión es rentable. Para los indicadores se ha supuesto una venta de 10 sistemas anuales.

El Valor Actual Neto (VAN) obtenido para 5 años es de 2.924,12 €.

Esto es la ganancia neta generada por el proyecto. Al ser mayor que 0, el proyecto es viable para el tipo de interés del 5% utilizado.

La Tasa Interna de Rendimiento (TIR) obtenida es del 26%, al ser superior al tipo de interés del 5% mencionado anteriormente, se cumple la condición de efectividad. Cuanto mayor sea el TIR, mejor es la inversión.

El Plazo de recuperación obtenido para los flujos de caja generados por el proyecto es de 2,66 años si se venden 10 equipos anuales.

El índice de Beneficio-Coste (IBC) muestra la eficacia de los fondos invertidos. El valor obtenido es positivo, ya que al ser superior a la unidad los beneficios son superiores a los costes estimados. El IBC obtenido es de 1,63.





**UNIVERSIDAD DE JAÉN**  
*Escuela Politécnica Superior (Jaén)*

## **Conclusiones**

**SEPTIEMBRE, 2019**

## 5 Conclusiones

El sistema de cámaras infrarrojas ha sido descartado por presentar problemas con las altas temperaturas en verano, ya que pueden hacer que el sistema no sea capaz de detectar la presencia de obstáculos vivos. Así mismo, también presenta debilidades al detectar cuerpos que se encuentran aislados térmicamente. Su coste es mucho más alto y no es competitivo en el mercado. Además, la dificultad de implementación del software es muy alta por lo que, además de encarecer la solución respecto al sistema de ultrasonidos, es más susceptible a errores una vez implementado.

En el presente proyecto se ha decidido implementar la solución exclusiva de sensores ultrasónicos para la detección de obstáculos en las inmediaciones del tractor, dado que éste es el sistema estudiado más competitivo económicamente en el mercado actual. Otras de las ventajas son el bajo consumo de energía y la baja dificultad de implementación del software.

Como se puede comprobar en el punto 4.1 del presente proyecto, se ha verificado la viabilidad en lo respectivo a normativa por cumplir con el Real Decreto 286/2006, Directiva 2009/76CE y Directiva 2009/63CE.

Se ha comprobado que existen márgenes de rentabilidad económica pero se verían reducidos al mejorar el producto para su utilización en ambientes hostiles de trabajo, como se muestra en el punto 4.3.

El sistema ha sido diseñado de forma modular, de forma que sea fácilmente ampliable y los componentes fácilmente sustituibles por otros más resistentes a entornos hostiles. Los módulos que actúan como cajas negras son los siguientes:

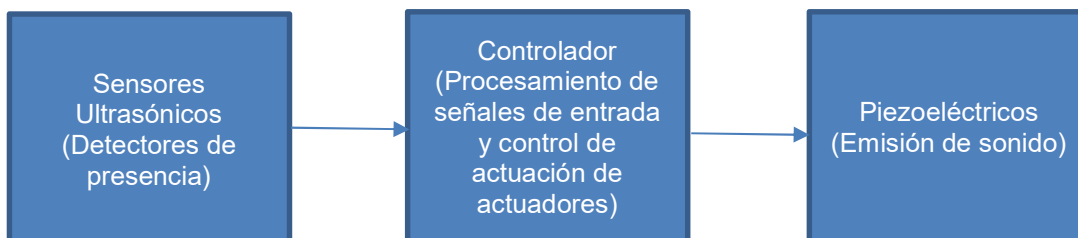


Ilustración 20 Diseño modular del sistema de ultrasonidos

Como se muestra en el punto 4.2 y anexo 4, punto 6.4.1, el proyecto es viable técnicamente, con un tiempo de respuesta de 247 ms. Los niveles de detección del sistema propuesto son altos para distintas formas, tamaños y distancias de obstáculos, como se muestra en el Anexo 4, punto 6.4.1.2.

Las posibles líneas de mejora futura son la generación de un sistema de protección contra ambientes hostiles y el aumento de la robustez de la solución aportada. Otra línea de mejora es el estudio de la viabilidad de realizar un sistema de visión con cámaras de visión no infrarroja.



**UNIVERSIDAD DE JAÉN**  
*Escuela Politécnica Superior (Jaén)*

## **Anexos**

**SEPTIEMBRE, 2019**

## 6 Anexos

### 6.1 Anexo 1: Cálculos Justificativos en Solución de Cámaras Infrarrojas complementado con Sensores Ultrasonidos.

#### 6.1.1 Ópticas

Para dimensionar las ópticas necesarias para cada cámara del sistema que se está diseñando, se utiliza el modelo de pin-hole. Para el dimensionado se utilizan las características siguientes de la cámara escogida:

#### General Specifications

|            |                                               |
|------------|-----------------------------------------------|
| Resolution | 640 (H) x 480 (V) pixels                      |
| Frame Rate | 30 fps; 50 <sup>2</sup> fps (full frame size) |
| Pixel Size | 17 $\mu$ m                                    |

Ilustración 21 - Especificaciones de cámara elegida. *Datasheet de Calibir 640*

*Tamaño de pixel  $\rightarrow 17\mu\text{m}$*

*Resolución de cámara  $\rightarrow 640 (H) \times 480 (V)$  píxeles*

Dado que los cuerpos más pequeños que se pretenden detectar se van a fijar a un área de  $1,5 \text{ dm}^2$  y a distancias de la cámara de 2 metros, para la cámara trasera y 4 metros para la cámara delantera en caso de ser situada en la cabina o 1 metro en caso de situarse junto a los proyectores del vehículo.

Para simplificación se supondrá que la forma de dichos cuerpos es cuadrada y se fija que la arista de dicho cuadrado en la captura de imagen se debe ver en 15 píxeles para poder procesar las imágenes con facilidad.

La expresión que se utiliza para calcular la distancia focal es la siguiente:

$$f = \frac{x * d}{X}$$

Donde:

- f es la distancia focal.
- x es la cantidad de píxeles a la que se quiere ver el objeto.
- d es la distancia de la cámara al objeto.
- X es la medida real del objeto.

Cálculo de la distancia focal para cámara trasera:

$$f = \frac{15 \text{ pixel} * (17 * 10^{-6} \frac{\text{m}}{\text{pixel}}) * 2 \text{ m}}{\sqrt{1,5 * 10^{-2} \text{ m}}} = 4,16 \text{ mm}$$

Cálculo de la distancia focal para cámara delantera para 4 metros:

$$f = \frac{15 \text{ pixel} * (17 * 10^{-6} \frac{m}{\text{pixel}}) * 4 \text{ m}}{\sqrt{1,5 * 10^{-2} \text{ m}}} = 8,33 \text{ mm}$$

Cálculo de la distancia focal para cámara delantera para 1 metro:

$$f = \frac{15 \text{ pixel} * (17 * 10^{-6} \frac{m}{\text{pixel}}) * 1 \text{ m}}{\sqrt{1,5 * 10^{-2} \text{ m}}} = 2,08 \text{ mm}$$

El factor de magnificación se calcula con la siguiente expresión:

$$M = \frac{x}{X}$$

Donde:

- M es el factor de magnificación.
- x es la cantidad de píxeles a la que se quiere ver el objeto.
- X es la medida real del objeto.

Por tanto:

$$M = \frac{15 \text{ pixel} * (17 * 10^{-6} \frac{m}{\text{pixel}})}{\sqrt{1,5 * 10^{-2} \text{ m}}} = 2,08 * 10^{-3}$$

El área que se visualizaría se calcula con la siguiente expresión:

$$S = X * Y = \frac{x}{M} * \frac{y}{M}$$

Donde:

- X es la medida real del objeto en el eje x.
- Y es la medida real del objeto en el eje y.
- M es el factor de magnificación.
- x es la cantidad de píxeles a la que se quiere ver el objeto en el eje x.
- y es la cantidad de píxeles a la que se quiere ver el objeto en el eje y.

Por tanto, el área que se visualizaría sería el siguiente para la cámara trasera:

$$S = \frac{480 \text{ pixel} * (17 * 10^{-6} \frac{m}{\text{pixel}}) * 640 \text{ pixel} * (17 * 10^{-6} \frac{m}{\text{pixel}})}{(2,08 * 10^{-3})^2} = 20,52 \text{ m}^2$$

Tras estos cálculos se comprueba que se pueden utilizar unas ópticas de 25 mm, valor fácilmente localizable en el mercado.

### 6.1.2 Switch

Dado que las cámaras propuestas tienen una resolución de 480x640, se puede calcular la cantidad total de píxeles:

$$480 \times 640 = 307200 \frac{\text{píxeles}}{\text{captura}}$$

Dado que la respuesta es de las cámaras es de 14 *bits/pixel*:

$$\frac{14 \text{ bits/pixel}}{8 \text{ bits/byte}} = 1,75 \text{ byte/pixel}$$

El tamaño de cada captura será de:

$$307200 \frac{\text{pixel}}{\text{captura}} \times 1,75 \frac{\text{byte}}{\text{pixel}} = 537600 \frac{\text{bytes}}{\text{captura}}$$

Al ser dos cámaras adquiriendo capturas a 30 fps, la velocidad mínima necesaria de trabajo del switch será la siguiente:

$$537600 \frac{\text{bytes}}{\text{captura}} \times 30 \frac{\text{capturas}}{\text{s} * \text{cámara}} * 2 \text{ cámara} = 3222000 \frac{\text{bytes}}{\text{s}} = 24,59 \text{ Mbps}$$

-Tensión de alimentación correcta 12/24V.

Se propone utilizar un switch de 62 W con PoE y velocidad de hasta 100 Mbps.

A continuación se muestra una imagen del switch seleccionado:



Ilustración 22 Switch de 5 puertos

6.1.3 Altavoces

Se ha realizado un estudio a 138 modelos de tractores para comprobar cuáles son los niveles de ruido máximos que podemos encontrar en la cabina:

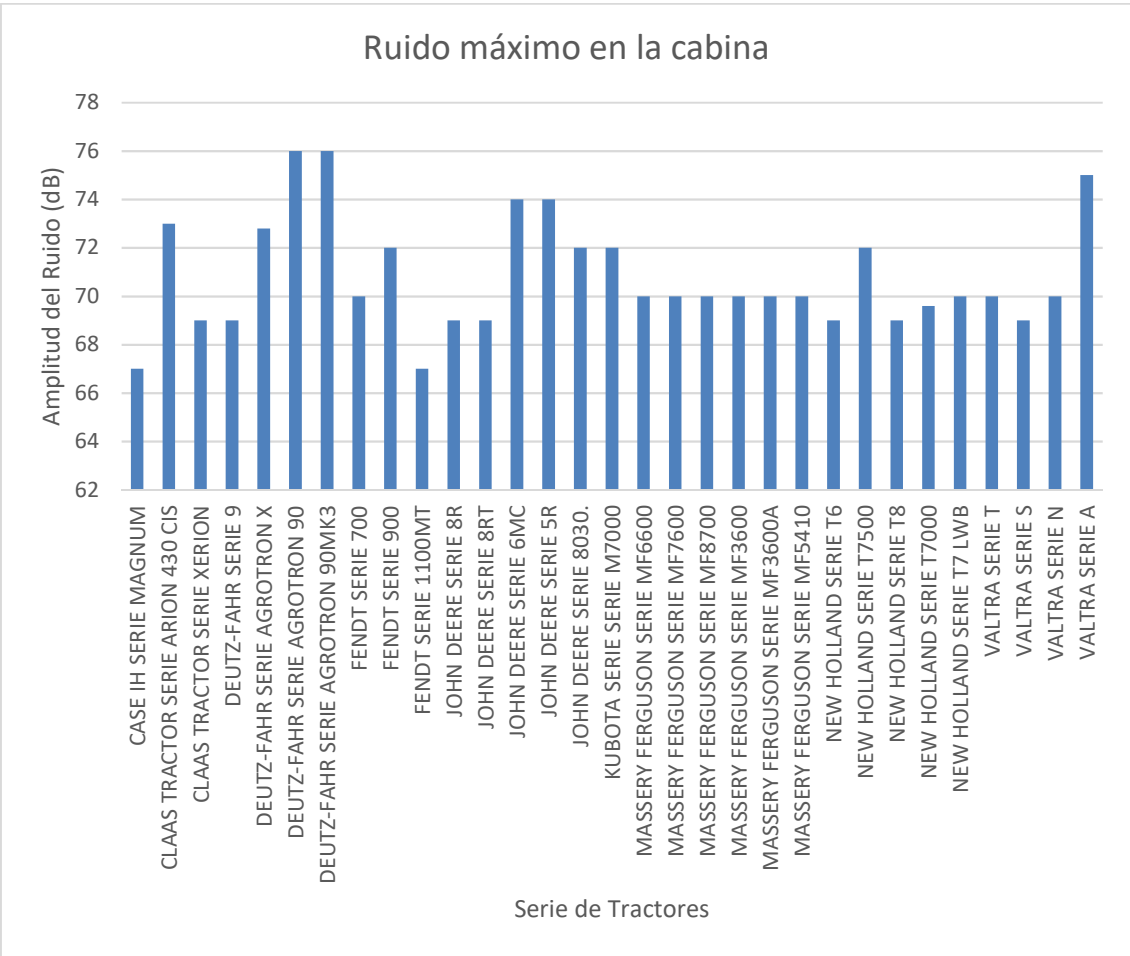


Ilustración 23 Ruido en cabina máximo para distintos modelos de tractor.  
Elaboración propia

Con estos datos se pueden obtener diferentes valores de utilidad para la selección de los altavoces:

|               |         |
|---------------|---------|
| Valor Medio   | 70,8 dB |
| Valor Mediano | 70 dB   |
| Valor Modal   | 70 dB   |

Tabla 28 Valores de presión sonora máxima en cabina de tractores. Elaboración propia

Dado que el valor de ruido más restrictivo permitido por la directiva europea es de 86 dB(A), es innecesario incluir unos altavoces de grandes dimensiones.

Una posible solución serían unos altavoces con una potencia máxima de salida de 15 W, una sensibilidad de 75 dB y alimentación a través de USB.

A continuación, se muestra una imagen de los altavoces seleccionados:



Ilustración 24 Altavoces para Sistema de visión

La hoja de características no señala cuál es el consumo de estos altavoces, pero se puede realizar una estimación de su potencia máxima demandada, dado que se pueden alimentar por USB 2.0. Un USB 2.0 es capaz de entregar una corriente de 500 mA a una tensión de 5V.

$$P_{altavoces} \approx 0,5A \times 5V = 2,5 W$$

#### 6.1.4 Batería

La estimación de potencia necesaria para alimentar el sistema se calcula a continuación:

$$\begin{aligned} P_{estimada} &= 2 * P_{cámara} + P_{ordenador} + P_{altavoces} + P_{inversor} \\ &= 2 * (3,7 W) + 312 W + 2,5 W + P_{estimada} * (1 - 0,85) \end{aligned}$$

$$P_{estimada} = 379 W$$



Tras estimar la potencia, se supondrá que el sistema debe trabajar durante una jornada laboral completa, por lo que se calcula la energía necesaria para suministrar la potencia estimada durante 8 horas:

$$E_{jornada\ laboral} = 379\ W \times 8h = 3032\ Wh \rightarrow 253\ Ah$$

Por lo que si se quiere asegurar que el sistema de visión pueda estar funcionando durante una jornada laboral completa se debe utilizar una batería con capacidad superior a 253 Ah. Una opción es utilizar una Batería Monobloque GEL ME con tensión de 12 V y capacidad de 280 Ah. A continuación se muestra una imagen de la batería seleccionada:



Ilustración 25 Batería Monobloque GEL ME de 12V y 280 Ah

### 6.1.5 Cableado de batería con inversor

Los cables de conexión de batería con el inversor deberían tener la siguiente sección:

Se realizan las siguientes suposiciones:

- Cable de cobre. Con conductividad de  $56\ m/(\Omega \cdot mm^2)$  a  $29,1\ ^\circ C$ .
- Longitud de cable ( $l$ ) de 5 metros.
- Intesidad  $\left(I = \frac{376W}{12V}\right)$
- Porcentaje de caída de tensión admisible del 5% (0,6V).

Para calcular la sección necesaria de cable se utiliza la siguiente expresión:

$$S = \frac{2 * l * I * \rho}{\Delta V}$$

Donde:

- $l$  es la longitud del cable
- $I$  es la intensidad que circula por el cable.
- $\rho$  es la resistividad del material del cable
- $S$  es la sección del cable.
- $\Delta V$  es la caída de tensión admisible.

Por lo tanto, aplicando valores:

$$S = \frac{2 * 5 * \frac{376}{12}}{56 * 0,6} = 9,32 \text{ mm}^2$$

Por lo que la sección de este cable debe ser de  $10 \text{ mm}^2$  o superior.

#### 6.1.6 Posicionamiento de las cámaras

Para garantizar el correcto funcionamiento de las cámaras se deben posicionar teniendo diversas variables en cuenta. Entre ellas se deben destacar las siguientes:

- Protección frente a adversidades meteorológicas.
- Protección frente a suciedad.
- Campo de visión suficientemente amplio.
- No existen obstáculos para la detección de la temperatura.

Lo ideal para la protección frente a lluvias, tormentas eléctricas o ventiscas sería posicionar las cámaras en el interior de la cabina, además también se podría controlar más fácilmente el nivel de suciedad al que las cámaras están expuestas. El principal inconveniente de posicionar las cámaras en el interior de la cabina es que el cristal normalmente está diseñado para aislar térmicamente la cabina, por lo que actuaría como una pantalla impidiendo adquirir la información de las temperaturas del exterior.

Se decide posicionar las cámaras en el exterior de la cabina para garantizar que la capacidad de aislamiento térmico del cristal del vehículo no actúa como barrera para la detección de las temperaturas, haciendo a los cuerpos calientes exteriores invisibles al sistema. Se debe tener en cuenta que al estar posicionadas en el exterior se debería incluir un sistema de protección frente a adversidades climatológicas y suciedad.

Dado que en la zona trasera del tractor podría haber equipamiento de maquinaria extra se decide que el mejor lugar para posicionar la cámara trasera es en la parte superior trasera de la cabina, como se muestra en la siguiente imagen:



Ilustración 26 Posicionamiento de cámara infrarroja trasera

Para reducir la zona ciega de la cámara frontal se realiza un estudio situando la cámara en la parte frontal superior de la cabina, y en la parte central de los proyectores de luz del vehículo. A continuación, se muestran unas imágenes orientativas de la zona donde se ha realizado el estudio del posicionamiento de las cámaras:



Ilustración 27. Posicionamiento de la cámara delantera.

Para calcular los ángulos de visión se utiliza la siguiente expresión:

$$\alpha_{horizontal} = 2 * \arctan\left(\frac{S}{2 * f}\right)$$

Donde:

- $\alpha_{horizontal}$  es el ángulo horizontal
- $\alpha_{vertical}$  es el ángulo vertical
- S es el tamaño del sensor, al ser full frame las medidas son de 24x36 mm
- f es la distancia focal.

$$\alpha_{horizontal} = 2 * \arctan\left(\frac{S}{2 * f}\right) = 2 * \arctan\left(\frac{36}{2 * 25}\right) = 71,5^\circ$$

$$\alpha_{vertical} = 2 * \arctan\left(\frac{S}{2 * f}\right) = 2 * \arctan\left(\frac{24}{2 * 25}\right) = 51,28^\circ$$

Para comprobar el ángulo de visión de las cámaras posicionadas en estos lugares, se han tomado como referencia las medidas de un tractor Valtra Serie T. A continuación, se puede ver en rojo la visión de las cámaras, y en azul la vista en planta del modelo simplificado del vehículo. El esquema de la izquierda representa la cámara colocada en la parte superior frontal de la cabina, en cambio el esquema de la derecha representa la colocación de la cámara en la parte central de los proyectores de luz.

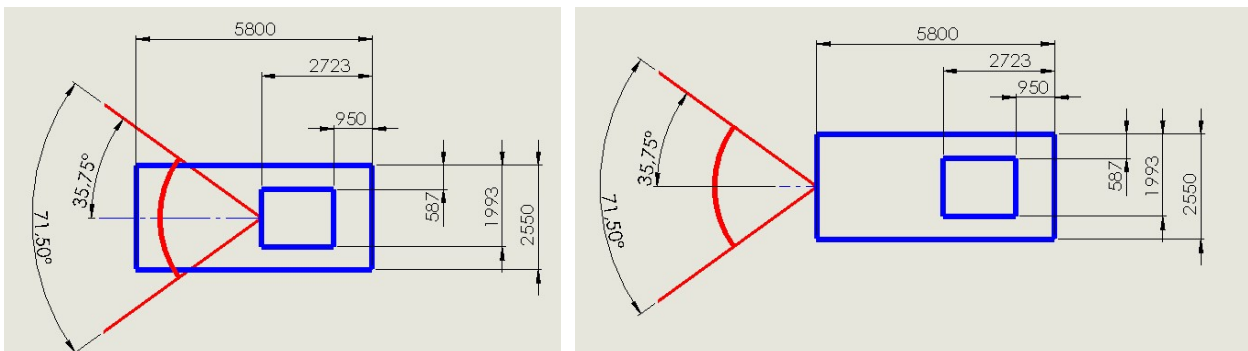


Ilustración 25 Vista Planta - Campo de visión de cámaras frontales

En el siguiente esquema se puede comprobar cuál sería la visión de la cámara situada en la parte superior de la cabina, en la zona trasera:

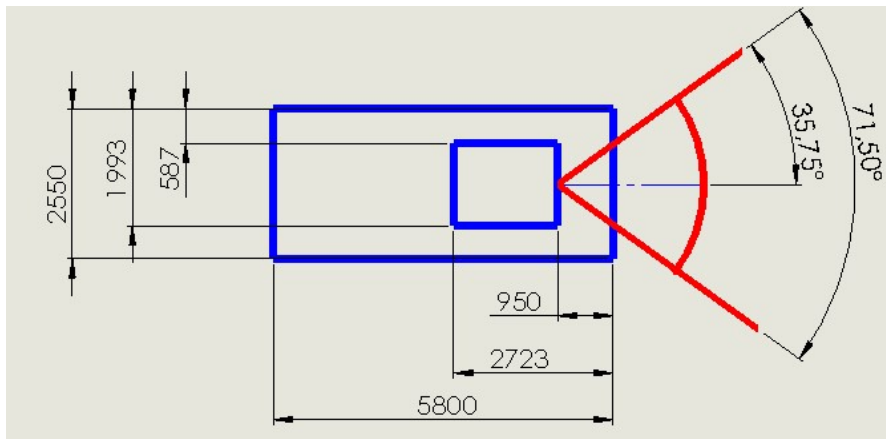


Ilustración 26 Vista Planta - Visión de cámara trasera

A continuación, se muestra el ángulo de visión de las cámaras en un Valtra Serie T en vista de perfil. Para el sistema de cámara frontal en la parte superior de la cabina:

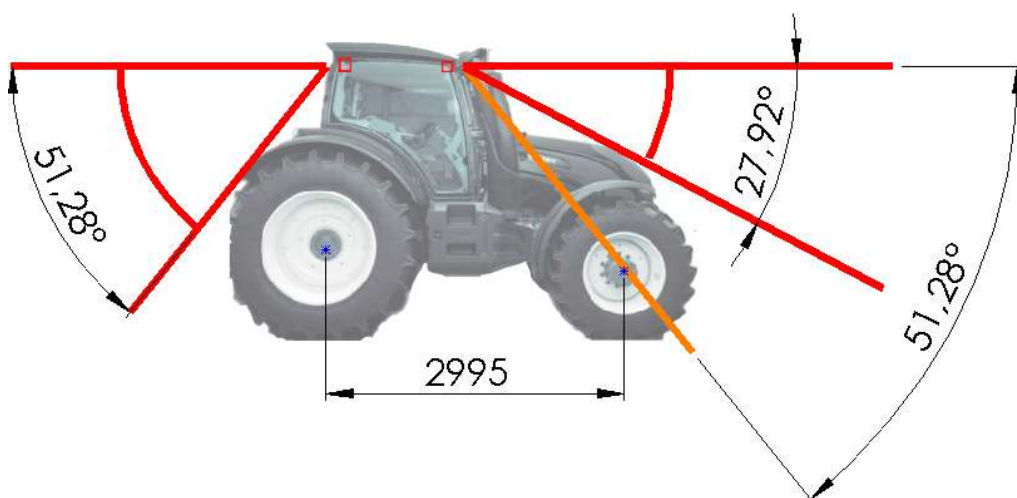


Ilustración 27 Vista Perfil - Zona de visión con cámaras en posición 1

Para reducir los puntos ciegos de la cámara en la zona frontal más delantera se decide inclinar la cámara hacia abajo, 45 grados con la vertical. En la siguiente imagen se muestra el ángulo de visión de las cámaras en un Valtra Serie T en vista de perfil:

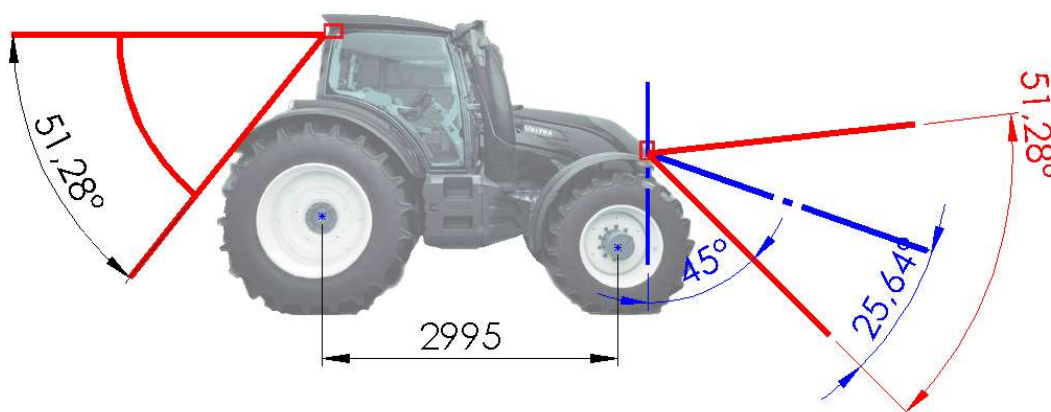


Ilustración 28 Vista Perfil - Zona de visión con cámara delantera en posición 2

Como se puede comprobar en las ilustraciones anteriores, existirán zonas ciegas que dependerán del vehículo concreto. Para el modelo mencionado con cámara en la parte superior frontal de la cabina se estima que la zona ciega inferior será la que a continuación se muestra de forma rallada:

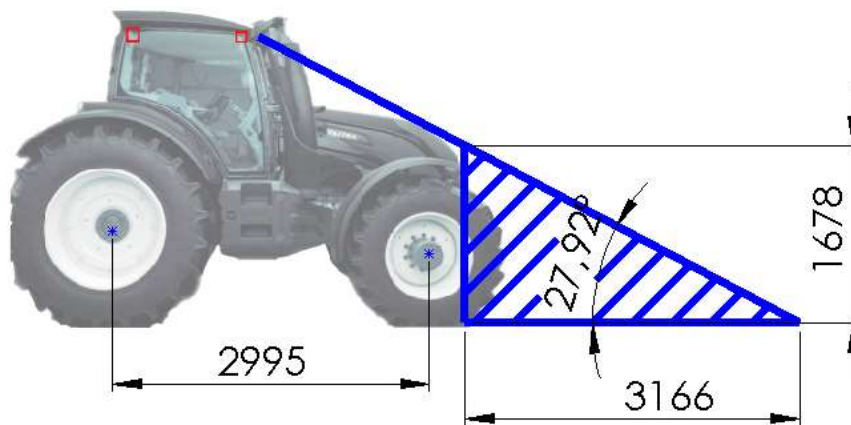


Ilustración 29 Vista Perfil - Zona ciega para cámara frontal en posición 1

En el caso de colocar la cámara en la parte central de los proyectores de luz del vehículo, la zona ciega inferior será la siguiente:

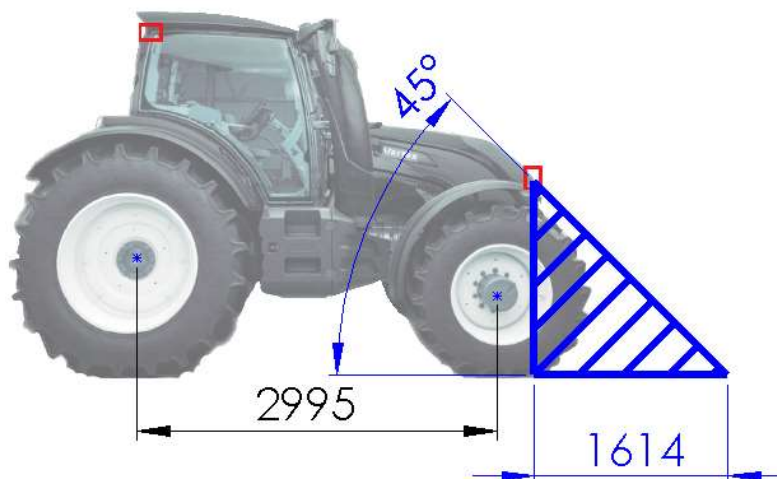


Ilustración 30 Vista Perfil - Zona ciega para cámara frontal en posición 2

Se puede comprobar que la colocación de la cámara frontal en la parte más delantera deja un área vertical ciega inferior a la de la colocación de la cámara en la cabina. Pero se puede comprobar, en la vista de planta del vehículo que existen otras zonas ciegas en la parte inmediatamente frontal de las ruedas delanteras:



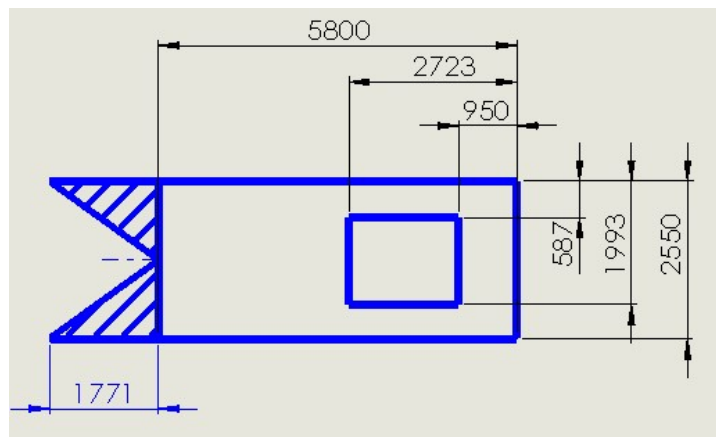


Ilustración 31 Vista Planta - Zonas ciegas

### 6.1.7 Cobertura de zonas ciegas

Como se puede comprobar, el sistema de visión con cámaras infrarrojas no cubre completamente la visibilidad necesaria, sino que existen zonas ciegas. Se podría complementar con un sistema de sensores ultrasónicos, para detectar presencia y su cercanía.

Este diseño consiste en un sistema que emite una señal y, calculando el tiempo transcurrido de su recepción, detectar la presencia de obstáculos. Un PLC se encargaría de procesar a tiempo real las señales recogidas y enviaría una señal al PC para emitir una señal auditiva en caso de presencia de obstáculos.

El posicionamiento de los sensores de ultrasonidos estimado para la complementación del sistema de visión es el que se muestra en las siguientes imágenes:



Ilustración 32 Posicionamiento de sensor ultrasonido para cobertura de punto ciego



Ilustración 33 Posicionamiento de sensores ultrasonidos

Quedando las zonas ciegas, cubiertas por la detención de los sensores de ultrasonidos como se muestra en las partes de color rojo a continuación:

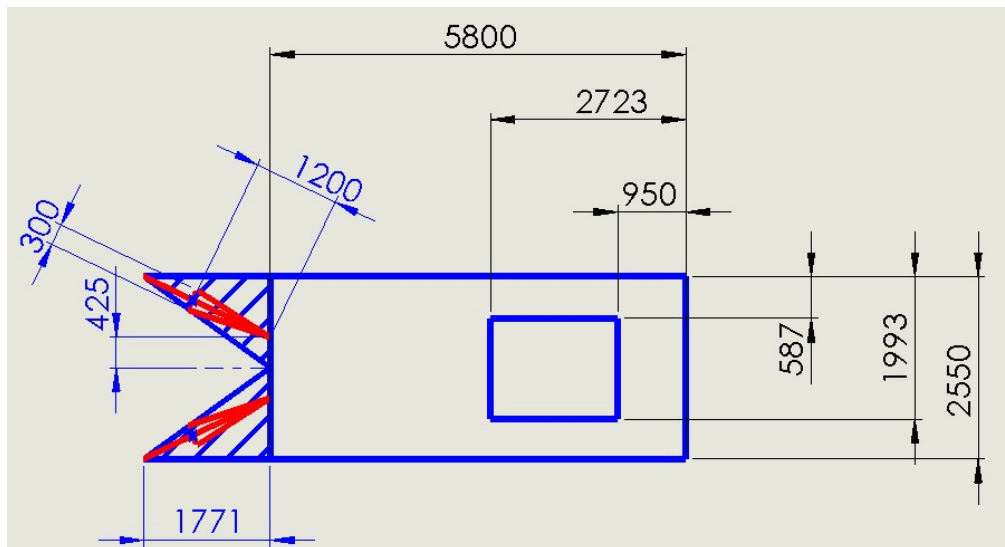


Ilustración 34 Vista Planta - Detección de sensores ultrasonidos

#### 6.1.8 Selección de Software del sistema

Para dar solución al software del sistema se puede optar por diversas soluciones. El tiempo de respuesta del sistema es variable, ya que se le puede dar solución con distintas herramientas y depende de la experiencia de los desarrolladores. Algunas herramientas posibles son las siguientes:

- Utilización de MATLAB.
- Utilización de Python con librería OpenCV.



#### -Utilización de C++ con librería OpenCV.

Algunos de los beneficios de utilizar MATLAB son:

- Su potencia en la utilización de matrices (Como la abreviatura de su nombre indica, MATrix LABoratory, o en español Laboratorio de matrices). Dado que cada captura que se recibe de las cámaras son matrices de color (de tamaño 480x640x3 para las cámaras en cuestión), es necesario utilizar una herramienta con alta potencia en el manejo de matrices.
- Su entorno integrado con herramientas de visualización y depuración hacen que el desarrollo del programa necesario sea más rápido que en otras alternativas.
- Otro punto fuerte de MATLAB es su gran documentación, esto hace que el desarrollo del programa sea más rápido que en otras alternativas.
- Es un lenguaje de programación sencillo de entender y débilmente tipado, lo que acelera los tiempos de desarrollo.

Algunos de los aspectos negativos de utilizar MATLAB son:

- Alto precio de adquisición de licencias. Se debe pagar 2000 € para una licencia sin caducidad, o 800 € en el caso de una licencia con caducidad anual. Además, el coste del Toolbox de sistemas de Visión por Computador añade unos sobrecostes de 1250 € para una licencia sin caducidad, o 500€ para una licencia con caducidad anual. Si además se pretende utilizar programación multihilo para poder utilizar dos cámaras simultáneamente en el sistema de Visión por Computador, el coste del Toolbox de computación paralela incrementa los costes de licencias otros 1000€ para licencia sin caducidad, o 400€ para para licencias anuales.
- Su tiempo de ejecución es realmente lento si se compara con otras herramientas.

Algunos de los beneficios de utilizar C++ con OpenCV son:

- Se puede utilizar tanto C++ como OpenCV de forma gratuita.
- La librería OpenCV está optimizada para tener un buen rendimiento.
- Hay una gran comunidad de desarrolladores que utilizan tanto este lenguaje como esta librería, esto facilita el desarrollo del código y reduce los tiempo de bloqueo.

Algunos de los aspectos negativos de utilizar C++ con OpenCV son:

- Es un lenguaje de programación fuertemente tipado, lo que podría ser una ventaja en otras soluciones, pero en el sistema de visión que se propone aumentaría el tiempo de desarrollo.
- La curva de aprendizaje de este lenguaje es más lenta que en las otras dos soluciones propuestas.

- La documentación de OpenCV es de mediocre calidad.

Algunos de los beneficios de utilizar Python con OpenCV son:

- La utilización de Python y OpenCV es gratuita.
- OpenCV es una librería bastante optimizada para obtener un buen rendimiento.
- Hay una gran comunidad de desarrolladores que utilizan tanto este lenguaje como esta librería, esto facilita el desarrollo del código y reduce los tiempos de bloqueo.
- Python es un lenguaje de programación sencillo de entender y débilmente tipado, lo que acelera los tiempos de desarrollo.

Algunos de los aspectos negativos de utilizar Python con OpenCV son:

- La documentación de OpenCV es de baja calidad.
- Python no es tan rápido como C++.
- Es posible que el GIL (Global Interpreter Lock) de Python perjudique la solución propuesta, ralentizando la respuesta del sistema, dado que es un lenguaje que no está pensado para trabajar en multihilo.

Para decidir el lenguaje de programación a utilizar se utilizarán distintos métodos de selección multicriterio. Las variables de decisión serán:

- Dificultad de desarrollo, valorado de 0 para dificultad nula a 10 para dificultad alta. Se atribuyen estos valores en función de la cantidad y calidad de la documentación encontrada en la red.
- Tiempo de procesado. Dado que, aun dando la misma solución, cada programa tiene una duración distinta de ejecución. Se realiza un programa donde se trabajan con matrices (dado que la solución final debe trabajar con éstas) cuya utilidad es únicamente comprobar la diferencia de tiempos de ejecución entre la utilización de los distintos lenguajes y librerías anteriormente mencionados.

El programa consiste en la declaración de dos matrices de 1000x1000, una de ceros y otra de unos. A continuación, se procede a cambiar los ceros de las filas pares de la matriz de ceros por unos. Para terminar, se realiza la operación lógica AND. Se realizan 100 simulaciones para cada lenguaje y se realiza un promedio.

El código ejecutado en MATLAB es el siguiente:

```
MA=ones(1000,1000);  
MBe=zeros(1000,1000);  
MBe(1:2:size(MBe,1),:)=1;  
MC = MA & MBe;
```

En el caso de Python se han utilizado las librerías OpenCV y Numpy para el trabajo con arrays, de esta forma el programa se realiza de forma más ágil. El programa ejecutado, equivalente al anterior, es el siguiente:

```
import cv2
import numpy as np
MA = np.ones((1000,1000), dtype=np.int32)
MBe = np.zeros((1000,1000), dtype=np.int32)
MBe[0:len(MA):2] = 1
MC = cv2.bitwise_and(MA,MBe)
```

A continuación se utiliza C++ con la librería OpenCV para ejecutar el código equivalente:

```
#include <iostream>
#include <opencv2/opencv.hpp>
using namespace cv;
using namespace std;

cv::Mat MA(cv::Size(1000,1000), CV_64FC1, Scalar(1));
cv::Mat MBe(cv::Size(1000,1000), CV_64FC1, Scalar(0));

for (int i = 0; i<1000; i=i+2)
    MBe.row(i)=1;
cv::Mat MC;
bitwise_and(MA,MBe,MC);
```

Tras 100 simulaciones en cada lenguaje se han obtenido los siguientes valores de tiempo de ejecución:

| Python con Numpy y OpenCV | Matlab          | C++ con OpenCV  |
|---------------------------|-----------------|-----------------|
| 0,0074 segundos           | 0,0110 segundos | 0,0064 segundos |

Tabla 29 Tiempo de ejecución de código de prueba

- También se añade la variable de precio de adquisición, para el presente caso, sólo Matlab es de pago.

Quedando la siguiente matriz multicriterio:

|  | Dificultad de desarrollo (Minimizar) | Tiempo de procesamiento (Minimizar) | Precio de adquisición (Minimizar) |
|--|--------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|
|  |                                      |                                     |                                   |

|                           |    |        |        |
|---------------------------|----|--------|--------|
| C++<br>(con<br>OpenCV)    | 10 | 0,0064 | 0      |
| Python<br>(con<br>OpenCV) | 8  | 0,0074 | 0      |
| Matlab                    | 5  | 0,0110 | 4250 € |

Tabla 30 Matriz multicriterio de selección de software para solución de cámaras. Elaboración propia

Los pesos se asignan en función de la importancia de cada variable, siendo el tiempo de procesamiento el más importante, ya que se pretenden procesar capturas de la forma más fluida posible:

|       |                          |                         |                       |
|-------|--------------------------|-------------------------|-----------------------|
|       | Dificultad de desarrollo | Tiempo de procesamiento | Precio de adquisición |
| Pesos | 5                        | 10                      | 5                     |

Tabla 31 Pesos para matriz multicriterio de solución de cámaras. Elaboración propia

A continuación, se procede a normalizar la matriz de decisión, dejando todos los valores comprendidos entre 0 y 1:

|                           |                                         |                                        |                                      |
|---------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------|--------------------------------------|
|                           | Dificultad de desarrollo<br>(Minimizar) | Tiempo de procesamiento<br>(Minimizar) | Precio de adquisición<br>(Minimizar) |
| C++<br>(con<br>OpenCV)    | 0,5                                     | 1                                      | 1                                    |
| Python<br>(con<br>OpenCV) | 0,625                                   | 0,8649                                 | 1                                    |
| Matlab                    | 1                                       | 0,5818                                 | 0                                    |

Tabla 32 Matriz multicriterio normalizada. Elaboración propia

Tras ejecutar el algoritmo de elección multicriterio por Suma Ponderada, Producto Ponderado y Producto Ponderado Exponencial se obtiene la siguiente tabla de resultados:

|        |                |                    |                                |
|--------|----------------|--------------------|--------------------------------|
|        | Suma Ponderada | Producto Ponderado | Producto Ponderado Exponencial |
| C++    | 17,50          | 125,00             | 0,03                           |
| Python | 16,77          | 135,14             | 0,02                           |
| Matlab | 10,82          | 0,00               | 0,00                           |

Tabla 33 Resultados obtenidos para distintos métodos de selección multicriterio. Elaboración propia

Por lo que se llega a la conclusión de que se debe utilizar C++ para la ejecución del proyecto, dado que es superior en dos de los tres métodos utilizados.

#### 6.1.9 Posicionamiento de los altavoces

Existen numerosos estudios que muestran de forma empírica que el tiempo de respuesta del conductor ante estímulos externos se puede reducir mediante la utilización de señales auditivas. Además, la cantidad de elementos que emiten la señal sonora, así como su posicionamiento respecto al conductor, son de gran importancia.

Se ha decidido que la forma óptima es utilizar dos altavoces, uno en la zona frontal izquierda y otro en la zona frontal derecha. Se descarta la opción de añadir más altavoces en otras posiciones porque pueden contribuir a la confusión del conductor y reducir el tiempo de respuesta.

En la siguiente imagen se puede ver un lugar apto para la colocación de ambos altavoces:



*Ilustración 35 Posicionamiento de altavoces*

## 6.2 Anexo 2: Cálculos Justificativos en Solución de Sensores ultrasonidos.

### 6.2.1 Batería

La estimación de potencia necesaria máxima para alimentar el sistema se calcula a continuación:

$$P_{estimada} = P_{ARDUINO} = 5 V \cdot 0,8 A$$

$$P_{estimada} = 4 W$$

Para estimar esta potencia se han utilizado los valores del regulador de tensión que tiene equipado el Arduino Uno. El código de este componente es AMS1117. El fragmento de la hoja de características utilizado se puede ver en la siguiente imagen:

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Advanced<br/>Monolithic<br/>Systems</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | <b>AMS1117</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | <i>800mA LOW DROPOUT VOLTAGE REGULATOR</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <b>FEATURES</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | <b>APPLICATIONS</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Three Terminal Adjustable or Fixed Voltages*<br/>1.5V, 1.8V, 2.5V, 2.85V, 3.3V and 5.0V</li> <li>• <b>Output Current of 800mA</b></li> <li>• Operates Down to 1V Dropout</li> <li>• Line Regulation: 0.2% Max.</li> <li>• Load Regulation: 0.4% Max.</li> <li>• SOT-223 and TO-252 package available</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• High Efficiency Linear Regulators</li> <li>• Post Regulators for Switching Supplies</li> <li>• 5V to 3.3V Linear Regulator</li> <li>• Battery Chargers</li> <li>• Active SCSI Terminators</li> <li>• Power Management for Notebook</li> <li>• Battery Powered Instrumentation</li> </ul> |

**Ilustración 36 Características del regulador de tensión de Arduino UNO.**  
*Datasheet de AMS1117*

En realidad, el consumo de potencia será considerablemente menor, pero eligiendo los valores de máxima corriente se asegura que el dimensionamiento de la batería a utilizar proporcionará de forma sobredimensionada la energía necesaria.

Tras estimar la potencia, se supondrá que el sistema debe trabajar durante una jornada laboral completa, por lo que se calcula la energía necesaria para suministrar la potencia estimada durante 8 horas:

$$E_{jornada\ laboral} = 4 W \times 8h = 32 Wh \rightarrow 4324 mAh$$

Por lo que si se quiere asegurar que el sistema de detección de obstáculos de sensores exclusivamente ultrasónicos pueda estar funcionando durante una jornada laboral completa se debe utilizar una batería con

capacidad superior a 4756,4 mAh (resultado obtenido sobredimensionado un 10 %).

Dado que el precio de este tipo de baterías no es excesivamente alto, una opción es utilizar una Batería Lipo 6000mAh que proporciona 7,4 V, con capacidad algo superior a la calculada. Esta capacidad equivale a 44,4 Wh, proporcionando 11,1h de autonomía.

### 6.2.2 Estudio de posicionamiento de los sensores ultrasonidos

El estudio realizado por el fabricante de este modelo de sensores expresa que el funcionamiento del sensor es óptimo cuando los obstáculos a detectar no se encuentran a más de 30° de medida, adjuntando además un estudio experimental:

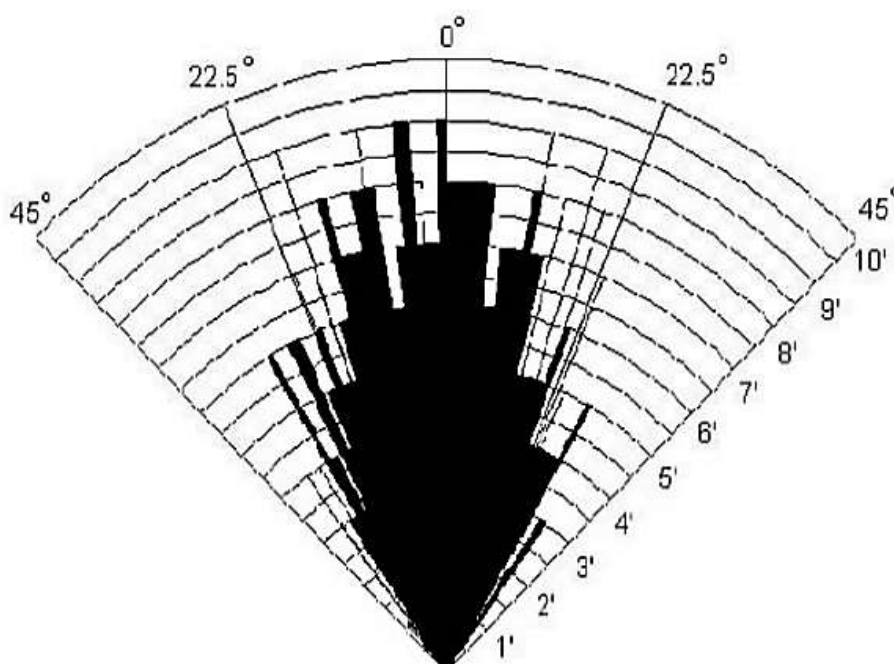


Ilustración 37 Cobertura angular de sensor ultrasonidos HC-SR04. *Datasheet de HC-SR04*

La zona de interés para el proyecto presente es la que se muestra a continuación, 15° a ambos lados del centro y a una distancia de 2 m:



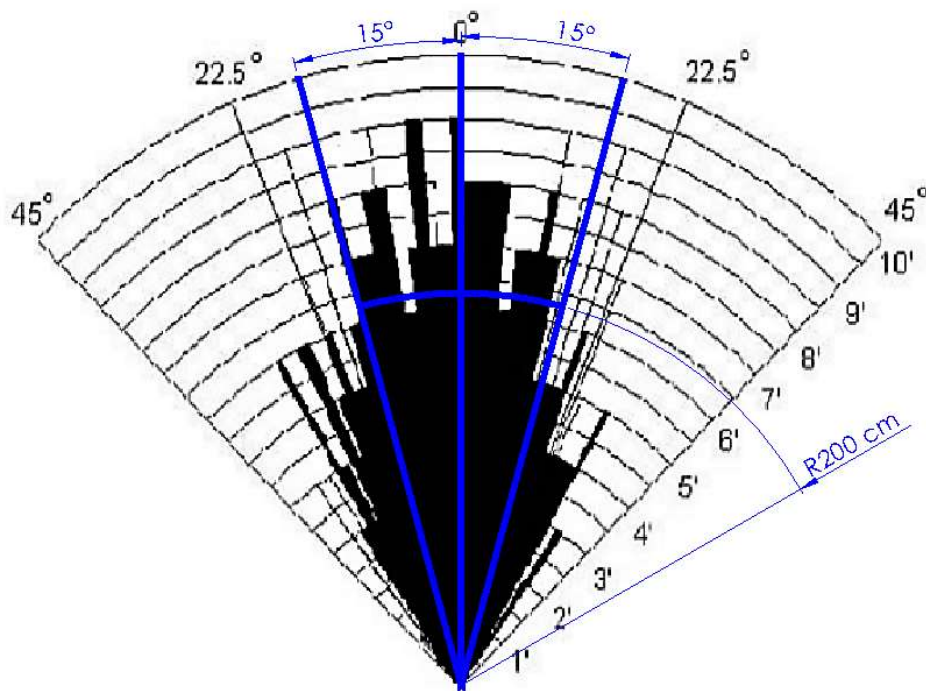


Ilustración 38 - Región de interés de Cobertura de sensor ultrasonidos HC-SR04. *Elaboración propia sobre Datasheet de HC-SR04*

El consumo de potencia estimado para cada sensor es el siguiente:

$$P_{\text{sensor}} = V \cdot I = 12 \cdot 0,1 = 1,2 \text{ W}$$

Por lo que, si la cantidad total es de 6, la potencia total estimada para los sensores será:

$$P_{\text{sensores}} = 6 \cdot P_{\text{sensor}} = 7,2 \text{ W}$$

Como se ha especificado anteriormente, los sensores tendrán un ángulo en el plano horizontal de medida igual o superior a 30°. Se puede comprobar visualmente en la siguiente imagen adjunta a continuación que, para el ángulo de trabajo mencionado, se pueden detectar obstáculos situados a dos metros de distancia de vehículos, tanto en la zona frontal como frontal como posterior.



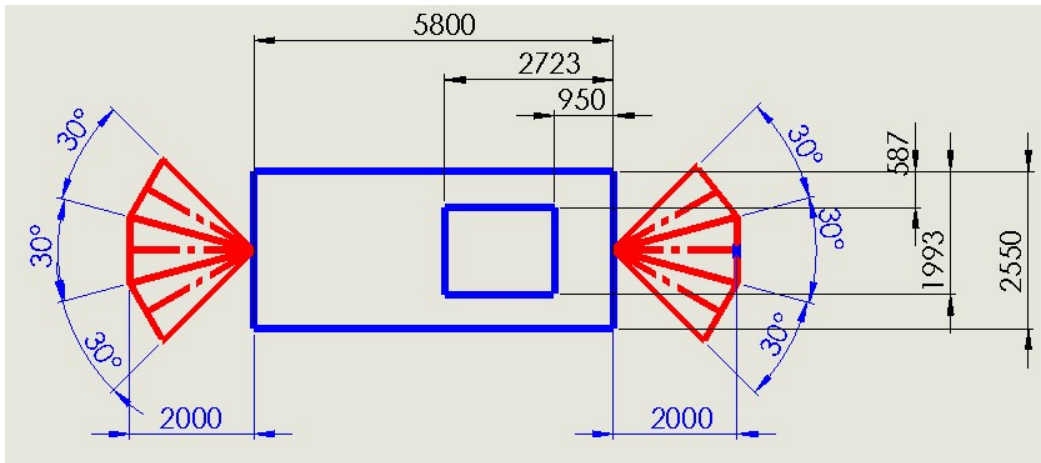


Ilustración 39 Vista Planta de cobertura de sensores ultrasonidos HC-SR04

En la siguiente imagen se puede comprobar a vista de perfil zona de detección de obstáculos marcada en color rojo. Se ha decidido inclinar la cámara trasera 10° por debajo de la horizontal para detectar de forma óptima obstáculos de menor altura.



Ilustración 40 Vista Perfil de cobertura de sensores ultrasonidos HC-SR04

El tiempo de respuesta de los sensores se calcula mediante la velocidad del sonido en condiciones ambientales ( $340 \frac{m}{s}$ ), se muestra a continuación el tiempo de respuesta en función de la distancia del obstáculo:

$$340 \frac{m}{s} = \frac{2 * distancia}{tiempo} \rightarrow tiempo = \frac{2 * distancia}{340 \frac{m}{s}}$$

Por lo que para una distancia máxima de 2 metros el tiempo de respuesta del sensor es inferior a 12 ms.

### 6.2.3 Posicionamiento de los piezoeléctricos

El posicionamiento de los piezoeléctricos será el mismo que el propuesto para los altavoces del sistema de visión infrarroja, como se puede comprobar en la imagen situada a continuación:

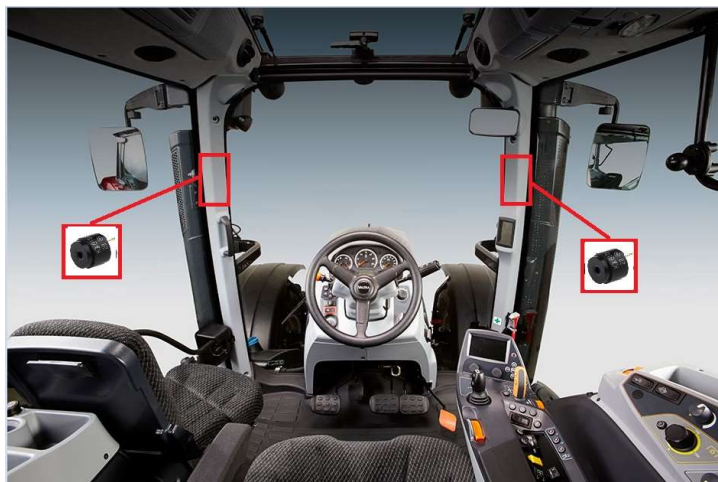


Ilustración 41 Posicionamiento de piezoeléctricos en cabina

### 6.2.4 Software de la solución

Se procede a realizar un prototipo consistente en una placa con microcontrolador Arduino UNO, dos piezoeléctricos y sensor de ultrasonidos. El montaje completo está detallado en el punto 7 de Planos del presente proyecto (Plano Nº 1). Se señalan en color rojo los piezoeléctricos y en color verde el sensor de ultrasonidos:

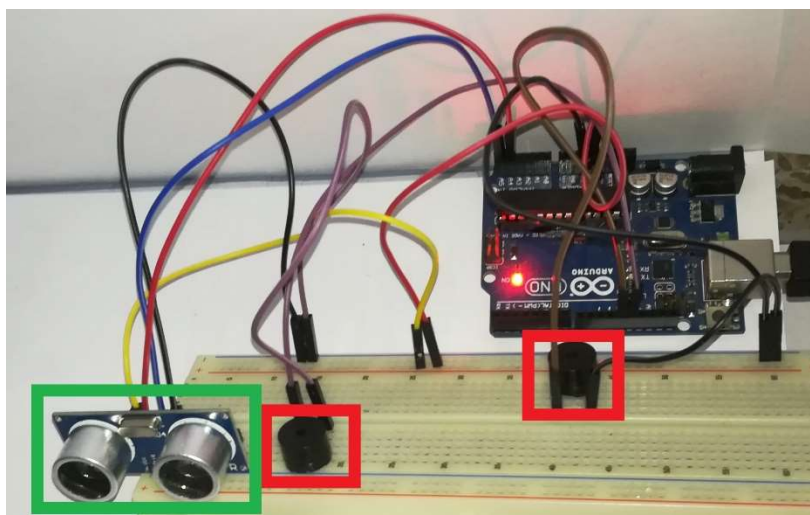


Ilustración 42 Prototipo de testeo de sensores y piezoeléctricos

Es preciso realizar tres programas para el microcontrolador, uno de depuración, uno de simulación y otro de producción. Todos son equivalentes en funcionamiento, exceptuando las siguientes excepciones:

- En el código de depuración se añade comunicación con el puerto serie para poder comprobar por ordenador la distancia detectada exacta por los sensores ultrasonidos.
- En el código de simulación, además de la comunicación por puerto serie, se fijan los valores de distancia con finalidad de comprobar que el sonido se emite por el lugar correcto.
- El código que finalmente se debe instalar en el sistema.

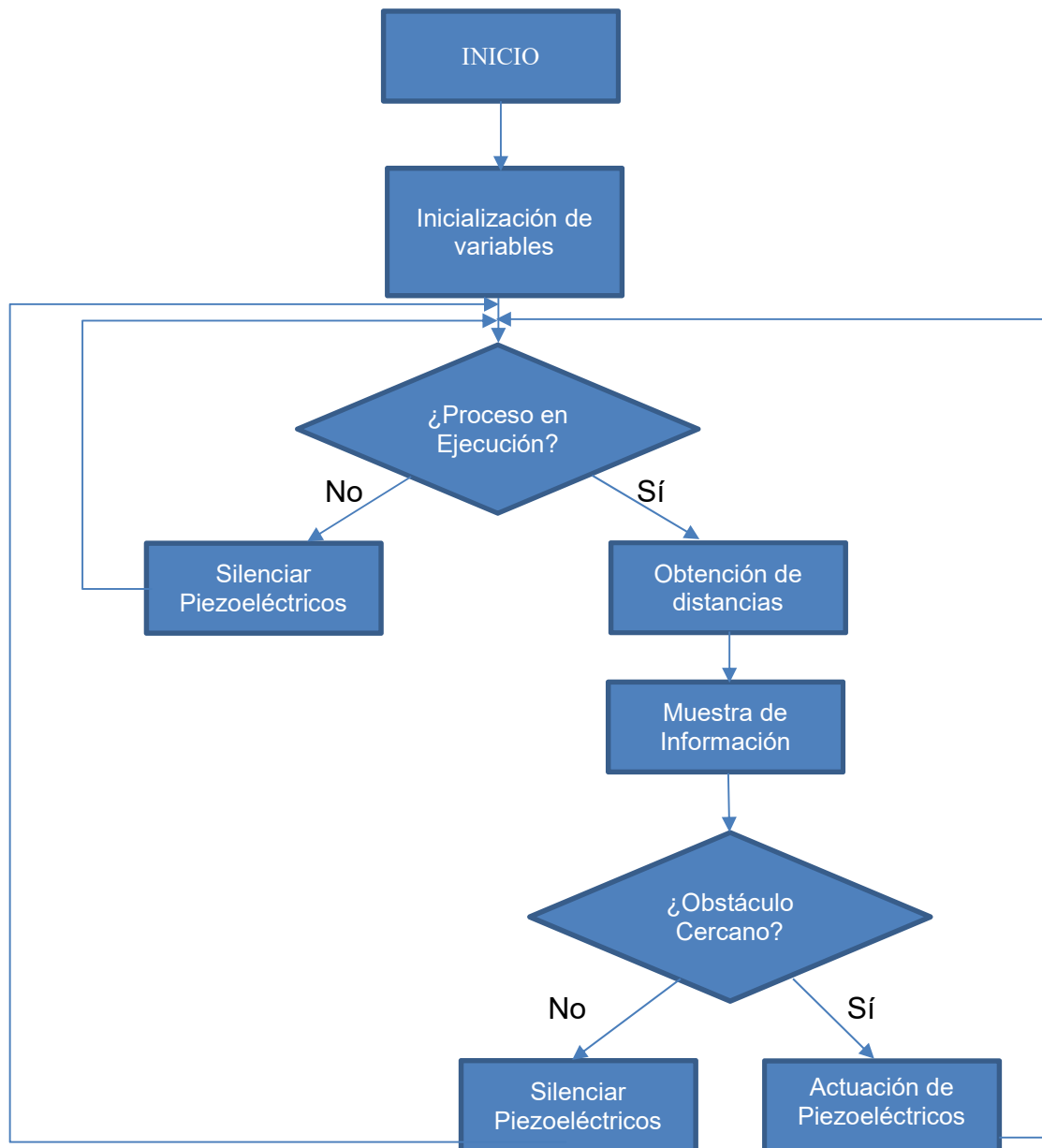
La distancia del obstáculo se calcula midiendo el tiempo que tarda desde que se envía hasta que vuelve la señal de ultrasonidos emitida, teniendo en cuenta que la velocidad del sonido en el aire es de 340 m/s. Realizando un factor de conversión para adaptarlo a las variables del programa se obtiene:

$$\frac{340 \text{ m}}{\text{s}} * \frac{1 \text{ s}}{1000000 \mu\text{s}} * \frac{100 \text{ cm}}{1 \text{ m}} = 0,034 \frac{\text{cm}}{\mu\text{s}}$$

Por tanto, para calcular la distancia del obstáculo en función del tiempo se utilizará la siguiente expresión:

$$d (\text{cm}) = t (\mu\text{s}) * \frac{0,034 \frac{\text{cm}}{\mu\text{s}}}{2} = \frac{t(\mu\text{s})}{59}$$

A continuación se muestra el flujograma del programa de depuración mencionado:



El código utilizado de depuración es el siguiente:

```
const int distanciaAlerta = 200;  
const int activacionPin = A1;  
const int triggerFrontIzq = A4;  
const int echoFrontIzq = A5;  
const int triggerFrontDer = 2;  
const int echoFrontDer = 3;  
const int triggerFrontCen = 4;  
const int echoFrontCen = 5;
```

```
const int triggerTrasIzq = 6;
const int echoTrasIzq = 7;
const int triggerTrasDer = 8;
const int echoTrasDer = 9;
const int triggerTrasCen = 10;
const int echoTrasCen = 11;

bool procesoActivo;
long distanciaFrontIzq;
long distanciaFrontDer;
long distanciaFrontCen;
long distanciaTrasIzq;
long distanciaTrasDer;
long distanciaTrasCen;
long minDistanciaIzq;
long minDistanciaDer;

const int piezoIzq = 12;
const int piezoDer = 13;

void setup() {

    Serial.begin(9600); //Se inicializa la comunicación a 9600 bps

    // Se fijan los pines de los piezoeléctricos como salidas
    pinMode(piezoIzq, OUTPUT);
    pinMode(piezoDer, OUTPUT);

    // Se configuran los sensores
    ConfigurarSensor(triggerFrontIzq, echoFrontIzq);
    ConfigurarSensor(triggerFrontDer, echoFrontDer);
    ConfigurarSensor(triggerFrontCen, echoFrontCen);
    ConfigurarSensor(triggerTrasIzq, echoTrasIzq);
    ConfigurarSensor(triggerTrasDer, echoTrasDer);
    ConfigurarSensor(triggerTrasCen, echoTrasCen);

}

void loop()
{
    procesoActivo = digitalRead(activacionPin);

    if(procesoActivo){
        EjecucionProceso();
    }else{
        noTone(piezoIzq);
        noTone(piezoDer);
    }
    delay(100);          //Pausa de 100ms
}
```

```
//Se ejecuta el proceso
void EjecucionProceso(){

    //Se dispara el sensor A con un pulso de 10 microsegundos
    DispararUltrasonidos(triggerFrontIzq);
    // Se obtiene el tiempo y la distancia del sensor frontal izquierdo
    distanciaFrontIzq = ObtenerDistancia (echoFrontIzq);

    //Se dispara el sensor B con un pulso de 10 microsegundos
    DispararUltrasonidos(triggerFrontDer);
    // Se obtiene el tiempo y la distancia del sensor frontal derecho
    distanciaFrontDer = ObtenerDistancia (echoFrontDer);

    //Se dispara el sensor B con un pulso de 10 microsegundos
    DispararUltrasonidos(triggerFrontCen);
    // Se obtiene el tiempo y la distancia del sensor frontal central
    distanciaFrontCen = ObtenerDistancia (echoFrontCen);

    //Se dispara el sensor B con un pulso de 10 microsegundos
    DispararUltrasonidos(triggerTrasIzq);
    // Se obtiene el tiempo y la distancia del sensor trasero izquierdo
    distanciaTrasIzq = ObtenerDistancia (echoTrasIzq);

    //Se dispara el sensor B con un pulso de 10 microsegundos
    DispararUltrasonidos(triggerTrasDer);
    // Se obtiene el tiempo y la distancia del sensor trasero derecho
    distanciaTrasDer = ObtenerDistancia (echoTrasDer);

    //Se dispara el sensor B con un pulso de 10 microsegundos
    DispararUltrasonidos(triggerTrasCen);
    // Se obtiene el tiempo y la distancia del sensor trasero central
    distanciaTrasCen = ObtenerDistancia (echoTrasCen);

    //Se muestran las distancias por el puerto serie.
    MostrarDatos( "Dist distanciaFrontIzq:", distanciaFrontIzq );
    MostrarDatos( "Dist distanciaFrontDer:", distanciaFrontDer );
    MostrarDatos( "Dist distanciaFrontCen:", distanciaFrontCen );
    MostrarDatos( "Dist distanciaTrasIzq:", distanciaTrasIzq );
    MostrarDatos( "Dist distanciaTrasDer:", distanciaTrasDer );
    MostrarDatos( "Dist distanciaTrasCen:", distanciaTrasCen );

    // calcula la distancia de aviso de cada piezoeléctrico
    minDistanciaIzq = minDeCuatro(distanciaFrontIzq, distanciaFrontCen,
    distanciaTrasIzq, distanciaTrasCen);
    minDistanciaDer = minDeCuatro(distanciaFrontDer, distanciaFrontCen,
    distanciaTrasDer, distanciaTrasCen);

    //Se actualiza la situación de los piezoeléctricos
    ActualizarPiezo(distanciaAlerta, minDistanciaIzq, piezoIzq);
    ActualizarPiezo(distanciaAlerta, minDistanciaDer, piezoDer);
}
```

```
//Se fijan los pines de eco y trigger de los sensores como entradas y salidas
void ConfigurarSensor(int trigger, int echo)
{
    pinMode(trigger, OUTPUT);
    pinMode(echo, INPUT);
    digitalWrite(trigger, LOW);
}

//Se dispara la señal del sensor ultrasonidos.
void DispararUltrasonidos(int trigger){
    digitalWrite(trigger, HIGH);
    delayMicroseconds(10);
    digitalWrite(trigger, LOW);
}

//Se obtiene la distancia de respuesta tras choque contra obstáculo
int ObtenerDistancia (int echo){
    long tiempo;
    long distancia;
    tiempo = pulseIn(echo, HIGH);
    distancia = tiempo/59;
    return distancia;
}

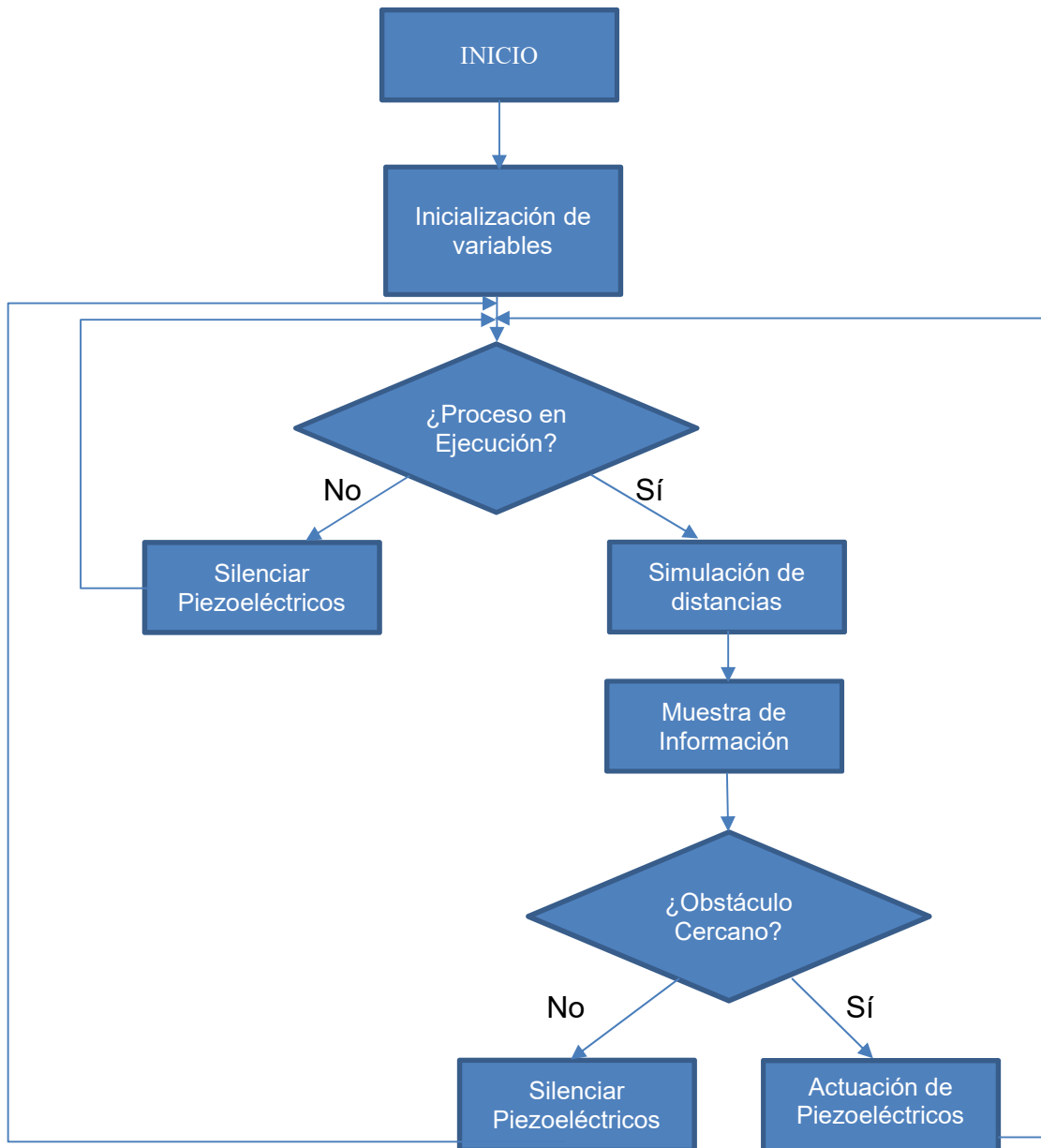
// Se envia orden de activación y desactivación al piezoeléctrico
void ActualizarPiezo(int distanciaAlerta, int distancia, int piezo){
    if (distancia < distanciaAlerta ){
        digitalWrite(piezo, HIGH);
    }else if(distancia >= distanciaAlerta ){
        digitalWrite(piezo, LOW);
    }
}

//Se muestran datos de distancia en puerto serie
void MostrarDatos( char nombre[], int distancia ){
    Serial.println(nombre);
    Serial.println(distancia);
    Serial.println();
}

//Devuelve la cantidad mínima de cuatro elementos
int minDeCuatro(int a, int b, int c, int d)
{
    int minimaDistancia;

    minimaDistancia = min(a,b);
    minimaDistancia = min(minimaDistancia, c);
    minimaDistancia = min(minimaDistancia,d);
    return(minimaDistancia);
}
```

El siguiente código se utiliza para realizar las simulaciones y comprobar que actúa el piezoeléctrico correcto en función del lugar en el que se detecte el obstáculo. Se deben manipular las variables resaltadas en negrita, introduciendo las distancias en centímetros de distancia respecto al sensor ultrasonidos que le corresponde. A continuación se muestra el flujograma del programa mencionado:





El código utilizado para simulaciones es el siguiente:

```
const int distanciaAlerta = 200;
const int activacionPin = A1;
const int triggerFrontIzq = A4;
const int echoFrontIzq = A5;
const int triggerFrontDer = 2;
const int echoFrontDer = 3;
const int triggerFrontCen = 4;
const int echoFrontCen = 5;
const int triggerTrasIzq = 6;
const int echoTrasIzq = 7;
const int triggerTrasDer = 8;
const int echoTrasDer = 9;
const int triggerTrasCen = 10;
const int echoTrasCen = 11;

bool procesoActivo;
long distanciaFrontIzq;
long distanciaFrontDer;
long distanciaFrontCen;
long distanciaTrasIzq;
long distanciaTrasDer;
long distanciaTrasCen;
long minDistanciaIzq;
long minDistanciaDer;

const int piezoIzq = 12;
const int piezoDer = 13;

void setup() {

  Serial.begin(9600); //Se inicializa la comunicación a 9600 bps

  // Se fijan los pines de los piezoeléctricos como salidas
  pinMode(piezoIzq, OUTPUT);
  pinMode(piezoDer, OUTPUT);

  // Se configuran los sensores
  ConfigurarSensor(triggerFrontIzq, echoFrontIzq);
  ConfigurarSensor(triggerFrontDer, echoFrontDer);
  ConfigurarSensor(triggerFrontCen, echoFrontCen);
  ConfigurarSensor(triggerTrasIzq, echoTrasIzq);
  ConfigurarSensor(triggerTrasDer, echoTrasDer);
  ConfigurarSensor(triggerTrasCen, echoTrasCen);

}

void loop()
{
  procesoActivo = digitalRead(activacionPin);

  if(procesoActivo){
    EjecucionProceso();
  }else{
    noTone(piezoIzq);
    noTone(piezoDer);
  }
}
```

```

    }
    delay(100);          //Pausa de 100ms
}

//Se ejecuta el proceso
void EjecucionProceso(){

    distanciaFrontIzq = 201;
    distanciaFrontDer = 201;
    distanciaFrontCen = 201;
    distanciaTrasIzq = 201;
    distanciaTrasDer = 201;
    distanciaTrasCen = 201;

    //Se muestran las distancias por el puerto serie.
    MostrarDatos( "Dist distanciaFrontIzq:", distanciaFrontIzq );
    MostrarDatos( "Dist distanciaFrontDer:", distanciaFrontDer );
    MostrarDatos( "Dist distanciaFrontCen:", distanciaFrontCen );
    MostrarDatos( "Dist distanciaTrasIzq:", distanciaTrasIzq );
    MostrarDatos( "Dist distanciaTrasDer:", distanciaTrasDer );
    MostrarDatos( "Dist distanciaTrasCen:", distanciaTrasCen );

    // calcula la distancia de aviso de cada piezoeléctrico
    minDistanciaIzq = minDeCuatro(distanciaFrontIzq,  distanciaFrontCen,
    distanciaTrasIzq, distanciaTrasCen);
    minDistanciaDer = minDeCuatro(distanciaFrontDer,  distanciaFrontCen,
    distanciaTrasDer, distanciaTrasCen);
    Serial.println("down");
    //Se actualiza la situación de los piezoeléctricos
    ActualizarPiezo(distanciaAlerta, minDistanciaIzq, piezoIzq);
    Serial.println(minDistanciaIzq);
    ActualizarPiezo(distanciaAlerta, minDistanciaDer, piezoDer);
    Serial.println(minDistanciaDer);
}

//Se fijan los pines de eco y trigger de los sensores como entradas y salidas
void ConfigurarSensor(int trigger, int echo)
{
    pinMode(trigger, OUTPUT);
    pinMode(echo, INPUT);
    digitalWrite(trigger, LOW);
}

//Se dispara la señal del sensor ultrasonidos.
void DispararUltrasonidos(int trigger){
    digitalWrite(trigger, HIGH);
    delayMicroseconds(10);
    digitalWrite(trigger, LOW);
}

//Se obtiene la distancia de respuesta tras choque contra obstáculo
int ObtenerDistancia (int echo){
    long tiempo;
    long distancia;
    tiempo = pulseIn(echo, HIGH);

```

```
    distancia = tiempo/59;
    return distancia;
}

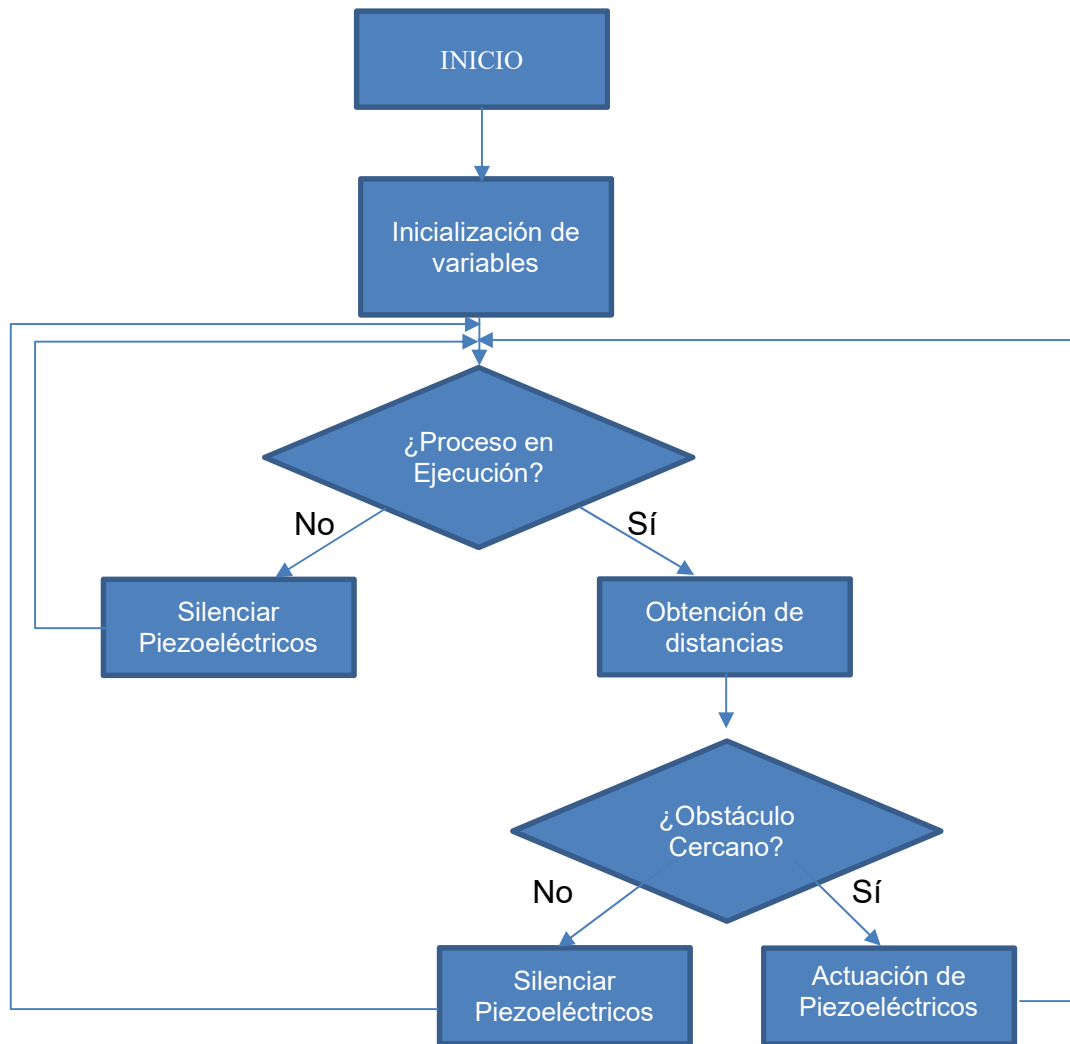
// Se envia orden de activación y desactivación al piezoeléctrico
void ActualizarPiezo(int distanciaAlerta, int distancia, int piezo){
    if (distancia < distanciaAlerta ){
        digitalWrite(piezo, HIGH);
    }else if(distancia >= distanciaAlerta ){
        digitalWrite(piezo, LOW);
    }
}

//Se muestran datos de distancia en puerto serie
void MostrarDatos( char nombre[], int distancia ){
    Serial.println(nombre);
    Serial.println(distancia);
    Serial.println();
}

//Devuelve la cantidad mínima de cuatro elementos
int minDeCuatro(int a, int b, int c, int d)
{
    int minimaDistancia;

    minimaDistancia = min(a,b);
    minimaDistancia = min(minimaDistancia, c);
    minimaDistancia = min(minimaDistancia,d);
    return(minimaDistancia);
}
```

El código a utilizar en producción es el siguiente, se puede comprobar que la diferencia es la eliminación de la parte de comunicación por puerto serie y la conexión directa con los sensores de ultrasonidos. El flujograma del funcionamiento de este programa es el siguiente:



El programa de producción es el que aparece a continuación:

```

const int distanciaAlerta = 200;
const int activacionPin = A1;
const int triggerFrontIzq = A4;
const int echoFrontIzq = A5;
const int triggerFrontDer = 2;
const int echoFrontDer = 3;
const int triggerFrontCen = 4;
const int echoFrontCen = 5;
const int triggerTrasIzq = 6;
const int echoTrasIzq = 7;
const int triggerTrasDer = 8;
const int echoTrasDer = 9;
const int triggerTrasCen = 10;
const int echoTrasCen = 11;
  
```

```
bool procesoActivo;
long distanciaFrontIzq;
long distanciaFrontDer;
long distanciaFrontCen;
long distanciaTrasIzq;
long distanciaTrasDer;
long distanciaTrasCen;
long minDistanciaIzq;
long minDistanciaDer;

const int piezoIzq = 12;
const int piezoDer = 13;

void setup() {

    // Se fijan los pines de los piezoeléctricos como salidas
    pinMode(piezoIzq, OUTPUT);
    pinMode(piezoDer, OUTPUT);

    // Se configuran los sensores
    ConfigurarSensor(triggerFrontIzq, echoFrontIzq);
    ConfigurarSensor(triggerFrontDer, echoFrontDer);
    ConfigurarSensor(triggerFrontCen, echoFrontCen);
    ConfigurarSensor(triggerTrasIzq, echoTrasIzq);
    ConfigurarSensor(triggerTrasDer, echoTrasDer);
    ConfigurarSensor(triggerTrasCen, echoTrasCen);

}

void loop()
{
    procesoActivo = digitalRead(activacionPin);

    if(procesoActivo){
        EjecucionProceso();
    }else{
        noTone(piezoIzq);
        noTone(piezoDer);
    }
    delay(100);          //Pausa de 100ms
}

//Se ejecuta el proceso
void EjecucionProceso(){

    //Se dispara el sensor A con un pulso de 10 microsegundos
    DispararUltrasonidos(triggerFrontIzq);
    // Se obtiene el tiempo y la distancia del sensor frontal izquierdo
    distanciaFrontIzq = ObtenerDistancia (echoFrontIzq);

    //Se dispara el sensor B con un pulso de 10 microsegundos
    DispararUltrasonidos(triggerFrontDer);
```

```
// Se obtiene el tiempo y la distancia del sensor frontal derecho
distanciaFrontDer = ObtenerDistancia (echoFrontDer);

//Se dispara el sensor B con un pulso de 10 microsegundos
DispararUltrasonidos(triggerFrontCen);
// Se obtiene el tiempo y la distancia del sensor frontal central
distanciaFrontCen = ObtenerDistancia (echoFrontCen);

//Se dispara el sensor B con un pulso de 10 microsegundos
DispararUltrasonidos(triggerTrasIzq);
// Se obtiene el tiempo y la distancia del sensor trasero izquierdo
distanciaTrasIzq = ObtenerDistancia (echoTrasIzq);

//Se dispara el sensor B con un pulso de 10 microsegundos
DispararUltrasonidos(triggerTrasDer);
// Se obtiene el tiempo y la distancia del sensor trasero derecho
distanciaTrasDer = ObtenerDistancia (echoTrasDer);

//Se dispara el sensor B con un pulso de 10 microsegundos
DispararUltrasonidos(triggerTrasCen);
// Se obtiene el tiempo y la distancia del sensor trasero central
distanciaTrasCen = ObtenerDistancia (echoTrasCen);

// calcula la distancia de aviso de cada piezoeléctrico
minDistanciaIzq = minDeCuatro(distanciaFrontIzq, distanciaFrontCen,
distanciaTrasIzq, distanciaTrasCen);
minDistanciaDer = minDeCuatro(distanciaFrontDer, distanciaFrontCen,
distanciaTrasDer, distanciaTrasCen);

//Se actualiza la situación de los piezoeléctricos
ActualizarPiezo(distanciaAlerta, minDistanciaIzq, piezoIzq);
ActualizarPiezo(distanciaAlerta, minDistanciaDer, piezoDer);
}

//Se fijan los pines de eco y trigger de los sensores como entradas y salidas
void ConfigurarSensor(int trigger, int echo)
{
    pinMode(trigger, OUTPUT);
    pinMode(echo, INPUT);
    digitalWrite(trigger, LOW);
}

//Se dispara la señal del sensor ultrasonidos.
void DispararUltrasonidos(int trigger){
    digitalWrite(trigger, HIGH);
    delayMicroseconds(10);
    digitalWrite(trigger, LOW);
}

//Se obtiene la distancia de respuesta tras choque contra obstáculo
```

```
int ObtenerDistancia (int echo){
    long tiempo;
    long distancia;
    tiempo = pulseIn(echo, HIGH);
    distancia = tiempo/59;
    return distancia;
}

// Se envia orden de activación y desactivación al piezoeléctrico
void ActualizarPiezo(int distanciaAlerta, int distancia, int piezo){
    if (distancia < distanciaAlerta ){
        digitalWrite(piezo, HIGH);
    }else if(distancia >= distanciaAlerta ){
        digitalWrite(piezo, LOW);
    }
}

//Devuelve la cantidad mínima de cuatro elementos
int minDeCuatro(int a, int b, int c, int d)
{
    int minimaDistancia;

    minimaDistancia = min(a,b);
    minimaDistancia = min(minimaDistancia, c);
    minimaDistancia = min(minimaDistancia,d);
    return(minimaDistancia);
}
```

Utilizando los siguientes comandos se puede comprobar el tiempo de ejecución de un ciclo completo:

```
//Se inicializa el conteo.
unsigned long start = micros();
// Se realiza el proceso a medir
ProgramaAMedir();
// Se calcula y muestra el tiempo consumido
unsigned long end = micros();
unsigned long delta = end - start;
Serial.println(delta)
```

Tras realizar 100 simulaciones se obtiene que el tiempo de respuesta medio del software diseñado es de 0,235 segundos. Esta es la cantidad de tiempo desde que se percibe un obstáculo hasta que se notifica al conductor.

### 6.2.5 Software para validación de emisiones sonoras

Para la validación de las emisiones sonoras se procede a posicionar un micrófono para obtener los sonidos emitidos por los piezoeléctricos ante una señal izquierda, derecha y ambas simultáneamente.

Utilizando el software Matlab y el siguiente algoritmo se puede obtener la información acústica de forma visual:

```
file = 'test.aac';  
[y,Fs] = audioread(file);  
N = length(y);  
t = linspace(0, N/Fs, N);  
plot(t,y)  
xlabel('Time')  
ylabel('Audio Signal')
```



### 6.3 Anexo 3: Simulación del código

Se procede a validar el lugar de emisión de sonido en función de diferentes distancias utilizando el código de simulación del Anexo 2 del presente proyecto, en el punto 6.2.4.

Caso de estudio N° 1:

Objeto se acerca por la parte frontal izquierda del tractor, a una distancia de un metro. Los parámetros de simulación introducidos son los siguientes:

```

distanciaFrontIzq = 100;
distanciaFrontDer = 201;
distanciaFrontCen = 201;
distanciaTrasIzq = 201;
distanciaTrasDer = 201;
distanciaTrasCen = 201;

```

Respuestas:

|                    |                                |
|--------------------|--------------------------------|
| Respuesta esperada | Suena piezoeléctrico izquierdo |
| Respuesta obtenida | Suena piezoeléctrico izquierdo |

Tabla 34 Respuestas para simulación de caso de estudio N° 1. Elaboración propia

Caso de estudio N° 2:

Objeto se acerca por la parte frontal del tractor, a una distancia de medio metro. Los parámetros de simulación introducidos son los siguientes:

```

distanciaFrontIzq = 201;
distanciaFrontDer = 201;
distanciaFrontCen = 50;
distanciaTrasIzq = 201;
distanciaTrasDer = 201;
distanciaTrasCen = 201;

```

Respuestas:

|                    |                                          |
|--------------------|------------------------------------------|
| Respuesta esperada | Suena piezoeléctrico izquierdo y derecho |
| Respuesta obtenida | Suena piezoeléctrico izquierdo y derecho |

Tabla 35 Respuestas para simulación de caso de estudio N° 2. Elaboración propia

Caso de estudio N° 3:

Objeto se acerca por la parte frontal derecha del tractor, a una distancia de metro y medio. Los parámetros de simulación introducidos son los siguientes:

```

distanciaFrontIzq = 201;
distanciaFrontDer = 150;
distanciaFrontCen = 201;
distanciaTrasIzq = 201;
distanciaTrasDer = 201;
distanciaTrasCen = 201;

```

Respuestas:

|                    |                              |
|--------------------|------------------------------|
| Respuesta esperada | Suena piezoeléctrico derecho |
| Respuesta obtenida | Suena piezoeléctrico derecho |

Tabla 36 Respuestas para simulación de caso de estudio N° 3. Elaboración propia

Caso de estudio N° 4:

Objeto se acerca por la parte trasera izquierda del tractor, a una distancia de metro y medio. Los parámetros de simulación introducidos son los siguientes:

```

distanciaFrontIzq = 201;
distanciaFrontDer = 201;
distanciaFrontCen = 201;
distanciaTrasIzq = 150;
distanciaTrasDer = 201;
distanciaTrasCen = 201;

```

Respuestas:

|                    |                                |
|--------------------|--------------------------------|
| Respuesta esperada | Suena piezoeléctrico izquierdo |
| Respuesta obtenida | Suena piezoeléctrico izquierdo |

Tabla 37 Respuestas para simulación de caso de estudio N° 4. Elaboración propia

Caso de estudio N° 5:

Objeto se acerca por la parte trasera del tractor, a una distancia de un metro. Los parámetros de simulación introducidos son los siguientes:

```

distanciaFrontIzq = 201;
distanciaFrontDer = 201;
distanciaFrontCen = 201;
distanciaTrasIzq = 201;
distanciaTrasDer = 201;
distanciaTrasCen = 100;

```

Respuestas:

|                    |                                           |
|--------------------|-------------------------------------------|
| Respuesta esperada | Suena piezoeléctrico izquierdo y derecho. |
| Respuesta obtenida | Suena piezoeléctrico izquierdo y derecho. |

Tabla 38 Respuestas para simulación de caso de estudio Nº 5. Elaboración propia

Caso de estudio Nº 6:

Objeto se acerca por la parte trasera derecha del tractor, a una distancia de un metro. Los parámetros de simulación introducidos son los siguientes:

```

distanciaFrontIzq = 201;
distanciaFrontDer = 201;
distanciaFrontCen = 201;
distanciaTrasIzq = 201;
distanciaTrasDer = 100;
distanciaTrasCen = 201;

```

Respuestas:

|                    |                               |
|--------------------|-------------------------------|
| Respuesta esperada | Suena piezoeléctrico derecho. |
| Respuesta obtenida | Suena piezoeléctrico derecho. |

Tabla 39 Respuestas para simulación de caso de estudio Nº 6. Elaboración propia

Caso de estudio Nº 7:

Objeto se acerca por la parte trasera derecha e izquierda del tractor, a una distancia de un metro. Los parámetros de simulación introducidos son los siguientes:

```

distanciaFrontIzq = 201;
distanciaFrontDer = 201;
distanciaFrontCen = 201;
distanciaTrasIzq = 100;
distanciaTrasDer = 100;
distanciaTrasCen = 201;

```

Respuestas:

|                    |                                           |
|--------------------|-------------------------------------------|
| Respuesta esperada | Suena piezoeléctrico derecho e izquierdo. |
| Respuesta obtenida | Suena piezoeléctrico derecho e izquierdo  |

Tabla 40 Respuestas para simulación de caso de estudio N° 7. Elaboración propia

Caso de estudio N° 8:

Objeto se acerca por la parte delantera derecha e izquierda del tractor, a una distancia de un metro. Los parámetros de simulación introducidos son los siguientes:

```

distanciaFrontIzq = 100;
distanciaFrontDer = 100;
distanciaFrontCen = 201;
distanciaTrasIzq = 201;
distanciaTrasDer = 201;
distanciaTrasCen = 201;

```

Respuestas:

|                    |                                           |
|--------------------|-------------------------------------------|
| Respuesta esperada | Suena piezoeléctrico derecho e izquierdo. |
| Respuesta obtenida | Suena piezoeléctrico derecho e izquierdo  |

Tabla 41 Respuestas para simulación de caso de estudio N° 8. Elaboración propia

## 6.4 Anexo 4: Análisis de viabilidad Técnico-Económica

### 6.4.1 Viabilidad Técnica

#### 6.4.1.1 Viabilidad técnica sonora

Tras posicionar un micrófono en las inmediaciones de los piezoeléctricos para captar el sonido y utilizando el programa diseñado del Anexo 2, punto 6.2.5, para la validación de emisiones sonoras el resultado obtenido es el siguiente:

- Marcado en color verde se puede comprobar el sonido del piezoeléctrico avisando de un obstáculo que se encuentra en la zona izquierda.
- Marcado en color naranja se comprueba el sonido del piezoeléctrico avisando de un obstáculo encontrado en la zona derecha, en este caso, el obstáculo se encuentra menor tiempo que en el caso anterior.
- Marcado en color azul se muestra la señal de ambos piezoeléctricos sonando simultáneamente, indicando que el obstáculo viene frontalmente o hay obstáculos a ambos lados, como se puede ver en el gráfico la situación ocurre dos veces.

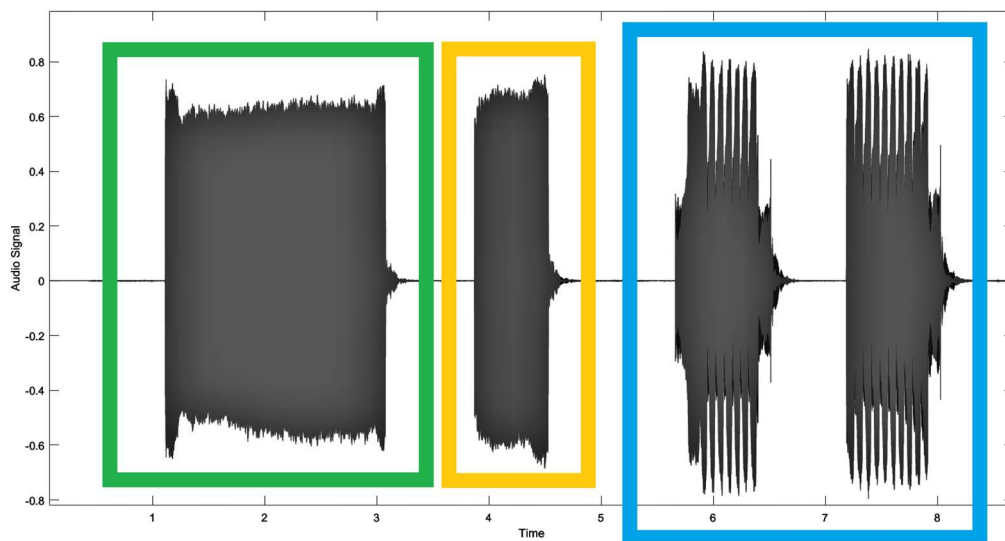


Ilustración 43 Grabación de sonido emitido por piezoeléctricos en prueba experimental

Los niveles máximos de presión sonora obtenidos en los piezoeléctricos se pueden comprobar en la siguiente imagen:

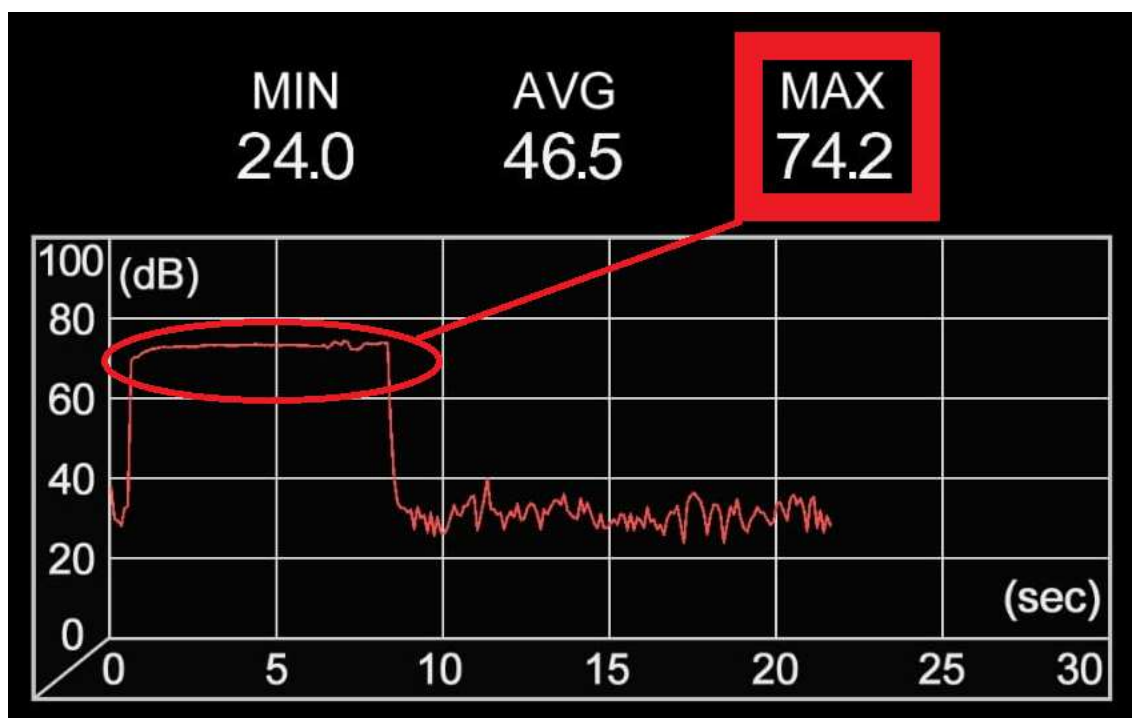


Ilustración 44 Medida de presión sonora en piezoeléctricos

En cuanto al nivel de presión sonora, se comprueba que es de 74,2 dB a 2048 Hz medidos a 10 cm del piezoeléctrico, siendo superior a los niveles medios, medianos y modales de las presiones máximas en cabina proporcionadas por los fabricantes del estudio realizado en el Anexo 1 del presente proyecto en el punto 6.1.3.

|               |         |
|---------------|---------|
| Valor Medio   | 70,8 dB |
| Valor Mediano | 70 dB   |
| Valor Modal   | 70 dB   |

Tabla 42 Valores de presión sonora de tractores actuales. Elaboración propia

Se procede a obtener los decibelios ponderados para poder realizar la comparación con la normativa vigente utilizando los factores correctivos de la siguiente tabla para los piezoeléctricos:

| Relative Response (dB) | Frequency (Hz) |       |       |      |      |      |      |      |      |
|------------------------|----------------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|
|                        | 31.25          | 62.5  | 125   | 250  | 500  | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |
| dB(A)                  | -39.4          | -26.2 | -16.1 | -8.6 | -3.2 | 0    | 1.2  | 1    | -1.1 |
| dB(B)                  | -17            | -9    | -4    | -1   | 0    | 0    | 0    | -1   | -3   |
| dB(C)                  | -3             | -0.8  | -0.2  | 0    | 0    | 0    | -0.2 | -0.8 | -3   |

Ilustración 45 - Factores correctivos para decibelios ponderados

|        |             |
|--------|-------------|
| dB     | 74,2 dB     |
| dB (A) | 75,4 dB (A) |
| dB (B) | 74,2 dB (B) |
| dB (C) | 74 dB (C)   |

Tabla 43 Valores filtrados emitidos por piezoeléctricos. Elaboración propia

Según el estudio mencionado en la bibliografía '*Personal noise exposures of operators of agricultural tractors*', el espectro de frecuencias de las presiones sonoras medias en las cabinas de los tractores del campo son las siguientes:

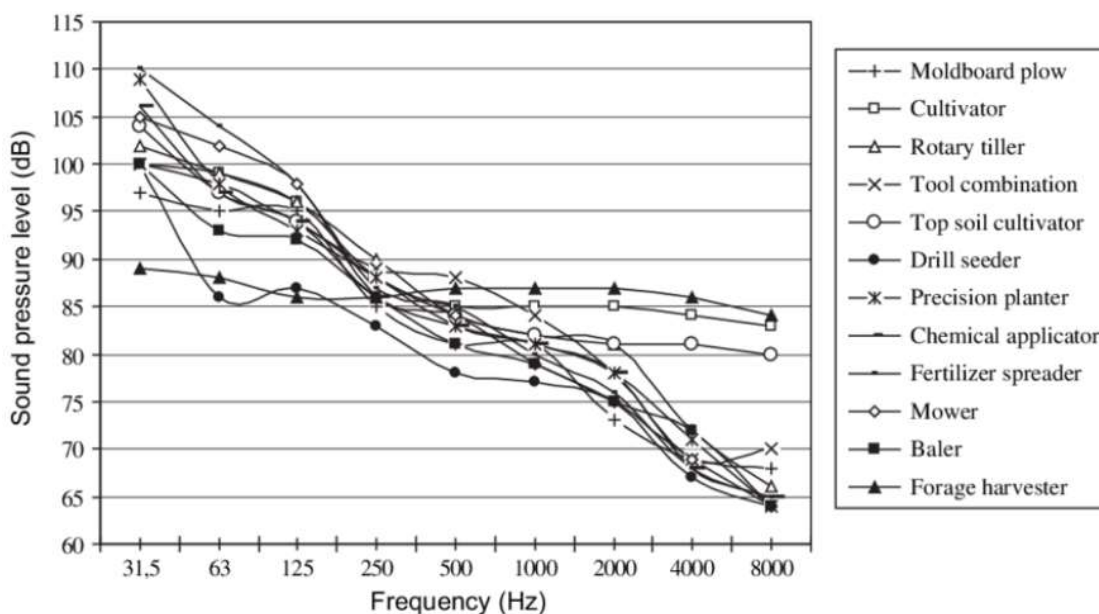


Ilustración 46 Espectro de frecuencias de las presiones sonoras medias en las cabinas de los tractores. *Personal noise exposures of operators of agricultural tractors*

Se puede comprobar que la mayor parte de presión sonora es para frecuencias bajas, concretamente a 31,5 Hz.

Los valores ponderados para esta frecuencia de los niveles máximos de presión sonora en cabina del tractor mediano son los siguientes:

|        |             |
|--------|-------------|
| dB     | 70 dB       |
| dB (A) | 30,6 dB (A) |
| dB (B) | 53 dB (B)   |
| dB (C) | 67 dB (C)   |

Tabla 44 Valores filtrados de presión sonora máxima mediana en tractores. Elaboración propia

Se procede a obtener los valores de la suma de presión sonora para la cabina del tractor mediano y los niveles máximos emitidos por el sistema mediante la utilización de la siguiente ecuación:

$$L_{Total} = 10 * \log_{10} \left( 10^{\frac{L_1}{10}} + 10^{\frac{L_2}{10}} \right)$$

Donde:

$-L_{Total}$  es la presión total de la suma de las dos componentes.

$-L_1$  es la presión sonora de una componente.

$-L_2$  es la presión sonora de otra componente.

|        |      |
|--------|------|
| dB     | 75,6 |
| dB (A) | 75,4 |
| dB (B) | 74,2 |
| dB (C) | 74,8 |

Tabla 45 Valores totales de presión sonora en tractor con sistema diseñado.  
Elaboración propia

Los valores de presión obtenidos tras su suma son inferiores a los niveles de presión sonora recogidos en la legislación vigente en materia de exposición laboral al ruido es el Real Decreto 286/2006 (anteriormente el Decreto 1316/1989 de 27 de octubre), que establece que en el puesto de trabajo se deben utilizar protectores auditivos cuando se superen 80 dB (A) para niveles de exposición diaria o 135 dB(C) para valores de ruidos puntuales.

También se cumple la directiva 2009/76CE, dado que en los niveles de presión sonora más restrictivos de la mencionada directiva (Amplitud de 86 dB(A) medidos en las condiciones marcadas en el Anexo II de ésta), son inferiores a los niveles máximos emitidos por los piezoeléctricos.

#### 6.4.1.2 Viabilidad de detección de obstáculos

Para determinar la viabilidad y las limitaciones del sistema diseñado, se han realizado múltiples ensayos. Se han realizado pruebas para cuerpos de forma cilíndrica, planas y formas irregulares, para distintas distancias y para distintos ángulos. A continuación, se muestran algunas de las imágenes del proceso de toma de datos:

Toma de datos para distintas distancias frontales y cuerpo aproximadamente cilíndrico de 31 cm de altura y 8 cm de diámetro:



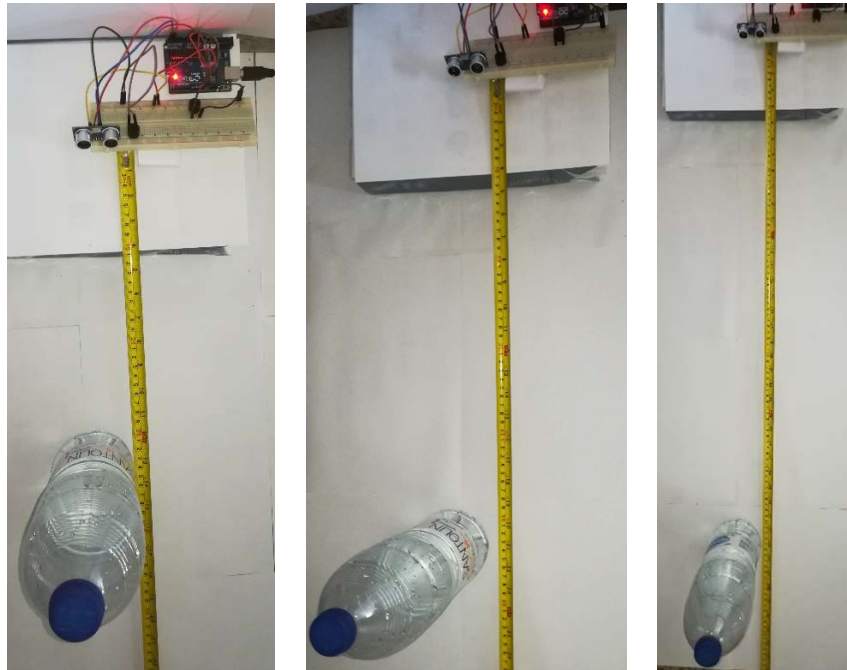


Ilustración 47 Ejemplo de toma de datos frontal para cuerpo aproximadamente cilíndrico. Imágenes de ejemplo para ángulo 0 y distancias de 30 cm, 50 cm y 80cm respectivamente.

Toma de datos para ángulo izquierdo respecto al sensor ultrasónico y cuerpo aproximadamente cilíndrico de 31 cm de altura y 8 cm de diámetro a distintas distancias.

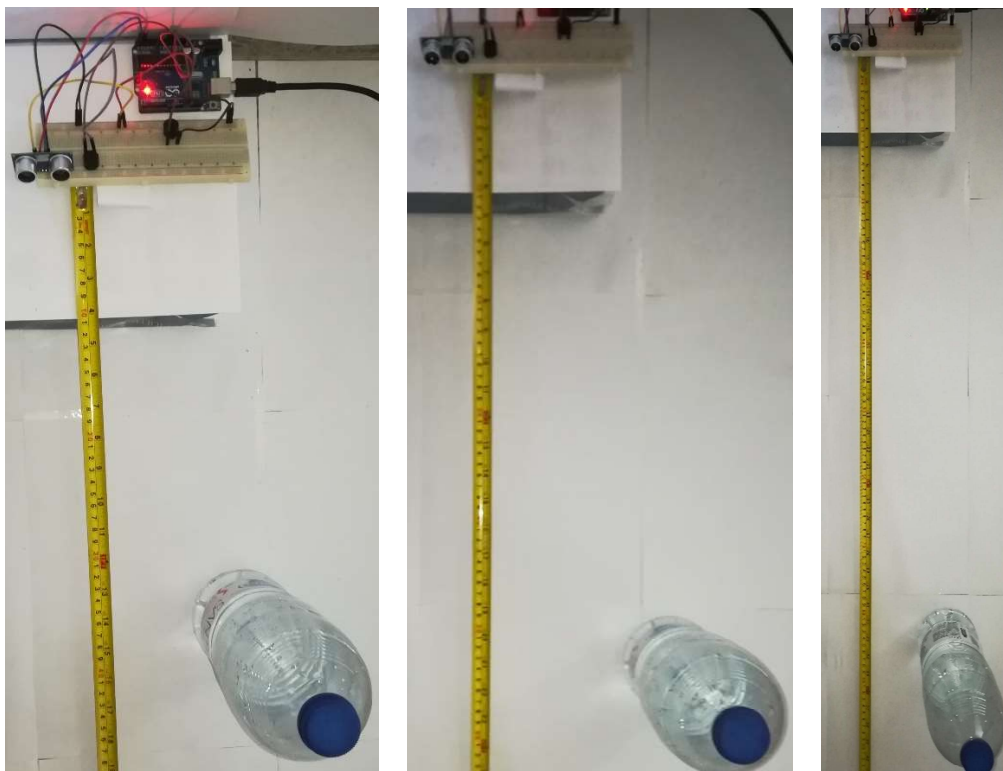


Ilustración 48 Ejemplo de toma de datos para ángulo izquierdo para cuerpo aproximadamente cilíndrico. Imágenes de ejemplo para (30°,30cm), (35°,50cm) y (12°, 80cm)

Toma de datos para ángulo derecho respecto al sensor ultrasónico y cuerpo aproximadamente cilíndrico de 31 cm de altura y 8 cm de diámetro a distintas distancias.



Ilustración 49 Ejemplo de toma de datos para ángulos derechos y cuerpo aproximadamente cilíndrico. Imágenes de ejemplo para (18°,30cm), (20°,50cm) y (14°, 80cm)

Se comprueba que la detección del cuerpo cilíndrico se realiza satisfactoriamente, tanto frontalmente como para ángulos mayores a los 30° fijados como límite.

Toma de datos para distintas distancias frontales y cuerpo irregular, de aproximadamente 25 cm de altura y 15 cm de ancho:

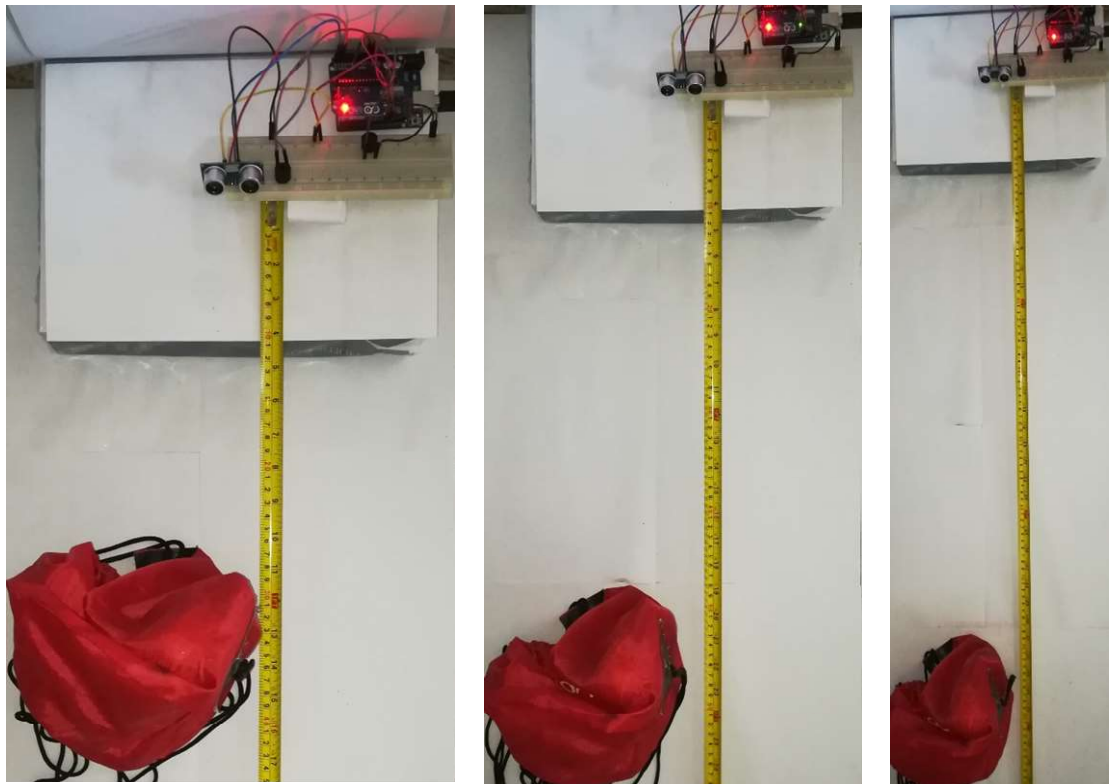


Ilustración 50 Ejemplo de toma de datos frontal para cuerpo irregular. Imágenes de ejemplo para ángulo 0 y distancias de 30 cm, 50 cm y 80cm respectivamente

Toma de datos para ángulo izquierdo respecto al sensor ultrasónico y cuerpo irregular, de aproximadamente 25 cm de altura y 15 cm de ancho, a distintas distancias.

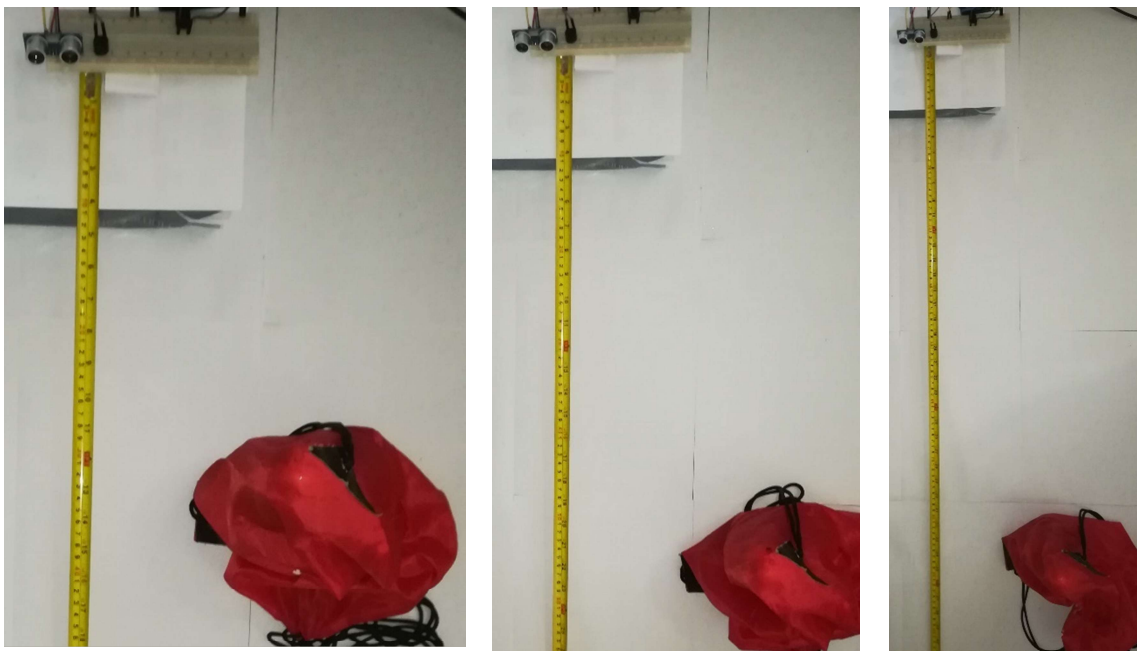


Ilustración 51 Ejemplo de toma de datos para ángulo izquierdo y cuerpo irregular. Imágenes de ejemplo para (30°,30cm), (35°,50cm) y (15°, 80cm)

Toma de datos para ángulo derecho respecto al sensor ultrasónico y cuerpo irregular, de aproximadamente 25 cm de altura y 15 cm de ancho, a distintas distancias.

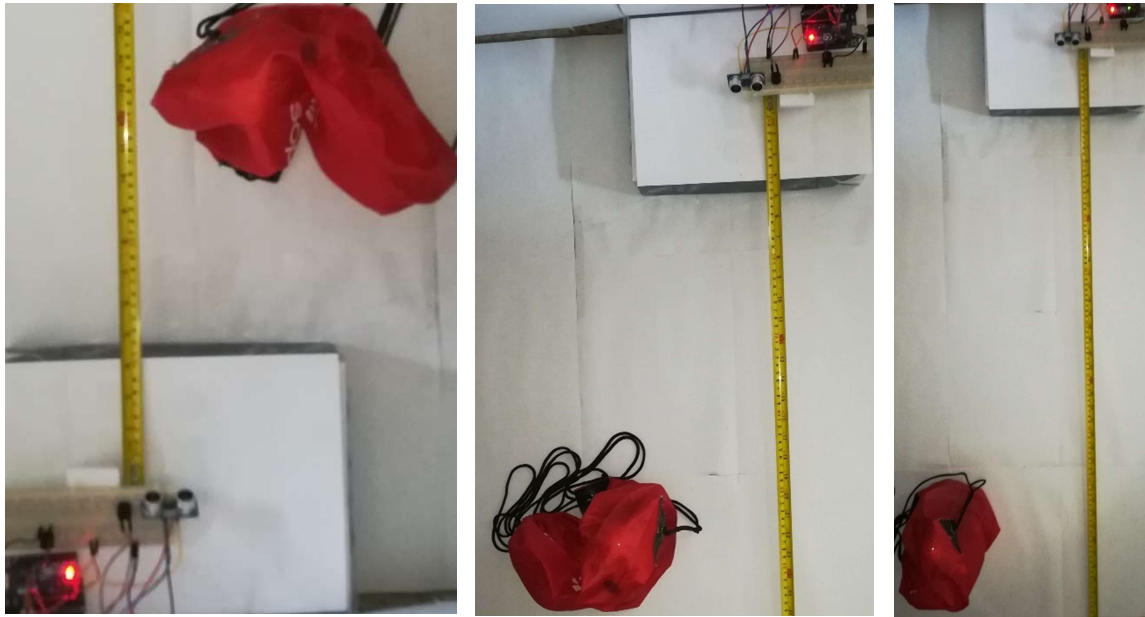


Ilustración 52 Ejemplo de toma de datos para ángulo derecho y cuerpo irregular. Imágenes de ejemplo para (15°, 30cm), (30°, 50cm) y (17°, 80cm)

Se comprueba que la detección del cuerpo irregular mencionado se realiza satisfactoriamente, tanto frontalmente como para ángulos mayores a los  $30^\circ$  fijados como límite.

Toma de datos frontal y cuerpo plano, de 12 cm de altura y 18 cm de ancho, a distintas distancias.



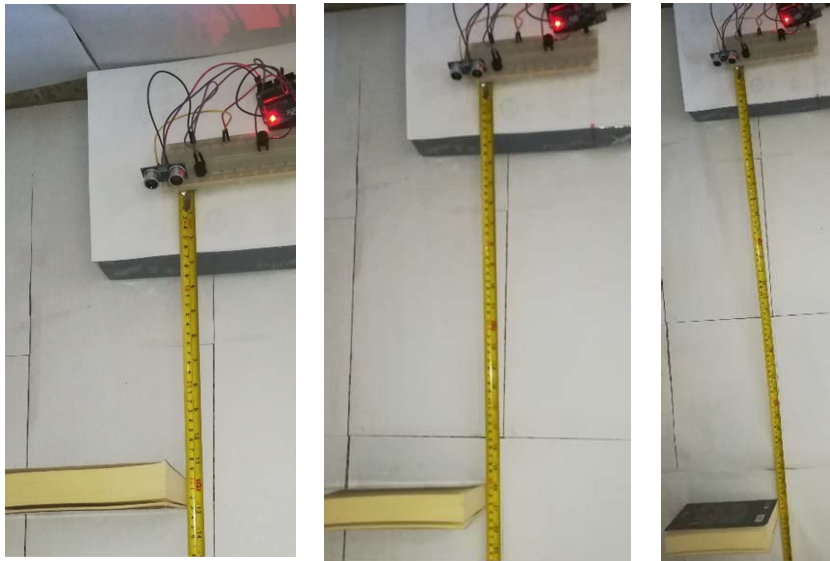


Ilustración 53 Ejemplo de toma de datos frontal para cuerpo plano. Imágenes de ejemplo frontales a distancias de 30 cm, 50 cm y 80cm respectivamente

Toma de datos para ángulos derechos y cuerpo plano, de 12 cm de altura y 18 cm de ancho, a distintas distancias y ángulos

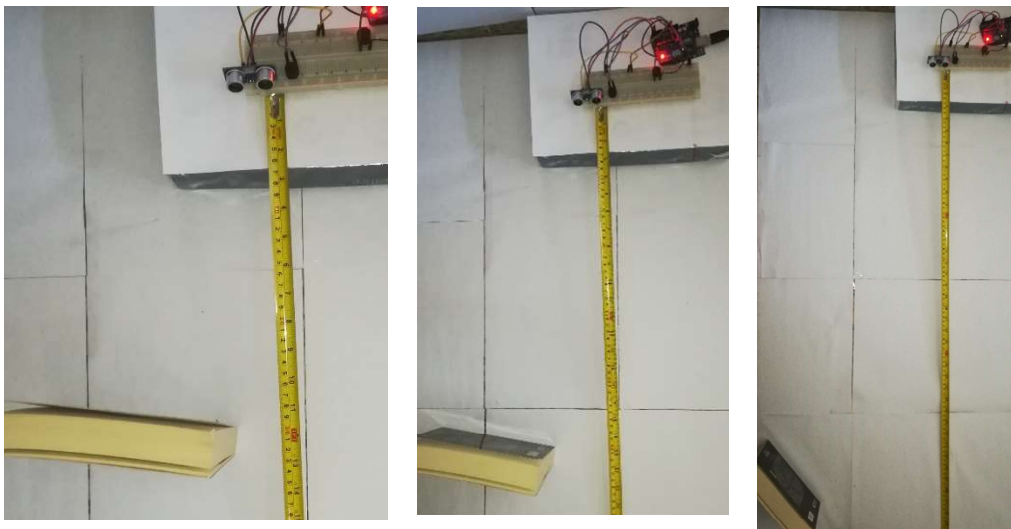


Ilustración 54 Ejemplo de toma de datos para ángulos derechos y cuerpo plano de 12 cm de altura y 18 cm de anchura. Imágenes de ejemplo tomadas a (15°,30cm),(22°,50cm),(23°,80cm) respectivamente

Se comprueba que la detección del cuerpo plano 12 cm de altura y 18 cm de ancho mencionado se realiza satisfactoriamente, tanto frontalmente como para ángulos mayores a los 30° fijados como límite.

Toma de datos frontal y cuerpo plano, de 18 cm de altura y 12 cm de ancho, a distintas distancias.

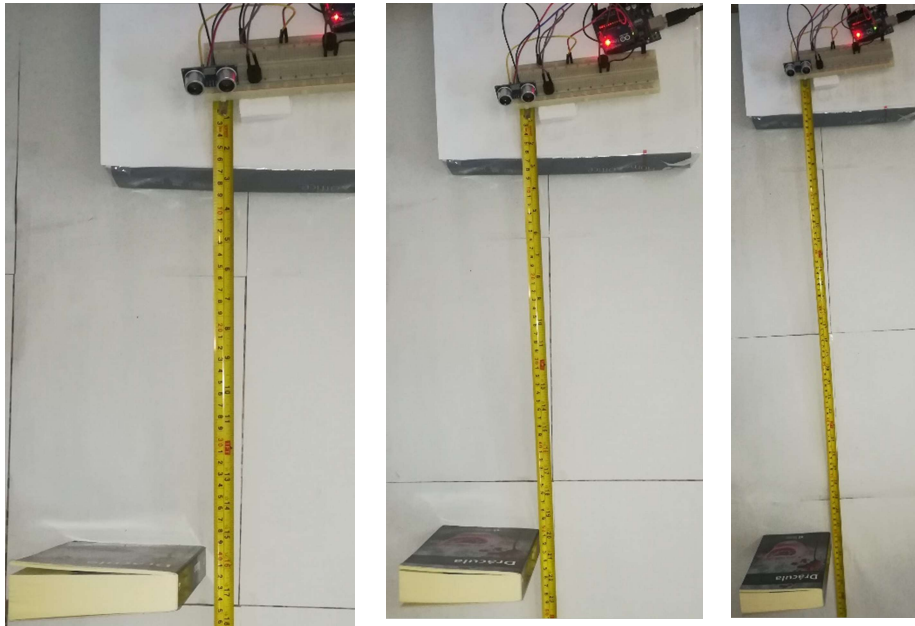


Ilustración 55 Ejemplo de toma de datos frontal para cuerpo plano. Imágenes de ejemplo frontales a distancias de 40 cm, 50 cm y 80cm respectivamente

Toma de datos para ángulos izquierdos y cuerpo plano, de 18 cm de altura y 12 cm de ancho, a distintas distancias y ángulos

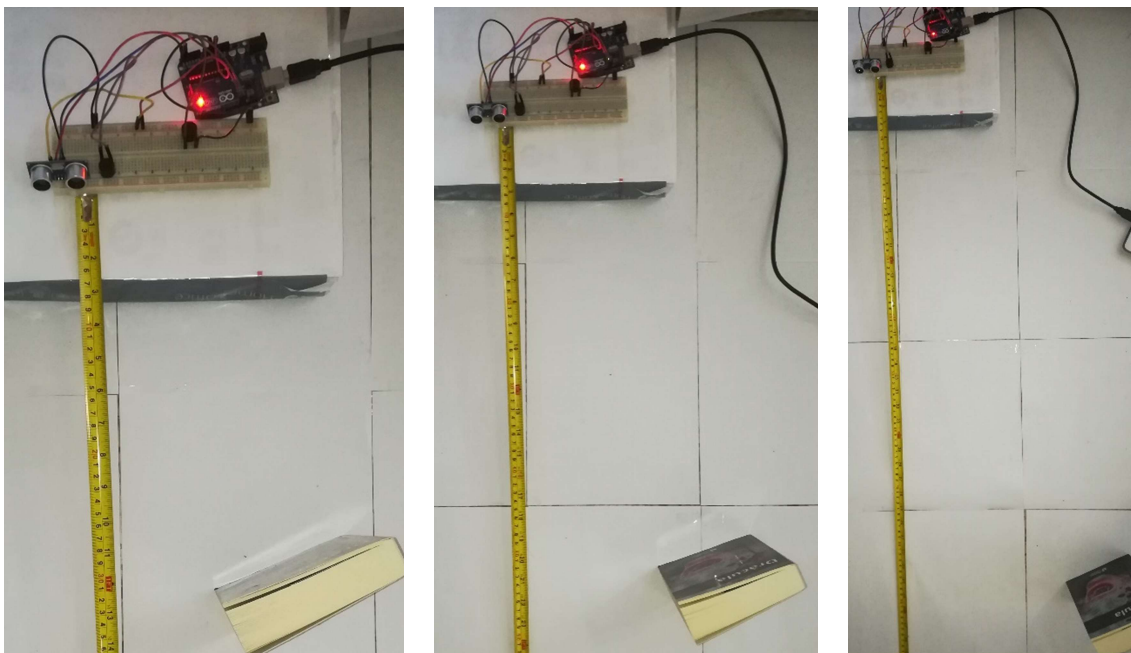


Ilustración 56 Ejemplo de toma de datos para ángulos izquierdos y cuerpo plano de 18 cm de altura y 12 cm de anchura. Imágenes de ejemplo tomadas a (30°,30cm),(23°,50cm),(21°,80cm) respectivamente

Se comprueba que la detección del cuerpo plano 18 cm de altura y 12 cm de ancho mencionado se realiza satisfactoriamente, tanto frontalmente como para ángulos mayores a los 30° fijados como límite.

Toma de datos frontal para cuerpo con morfología similar a la de un pequeño animal, de 5x5x12cm.



Ilustración 57 Ejemplo de toma de datos frontal para cuerpo plano. Imágenes de ejemplo frontales a distancias de 30 cm, 50 cm para animal caminando sobre 4 patas y 50cm con animal sostenido sobre 2 patas respectivamente

Se comprueba que para cuerpos de animales tan pequeños no existe detección.

Para verificar el cumplimiento de distancias, se procede a utilizar el software del Anexo 2, punto 6.2.4, específicamente el de modo depuración. En la siguiente imagen se muestra visualmente cómo se han obtenido los datos que posteriormente se muestran en forma de tabla:

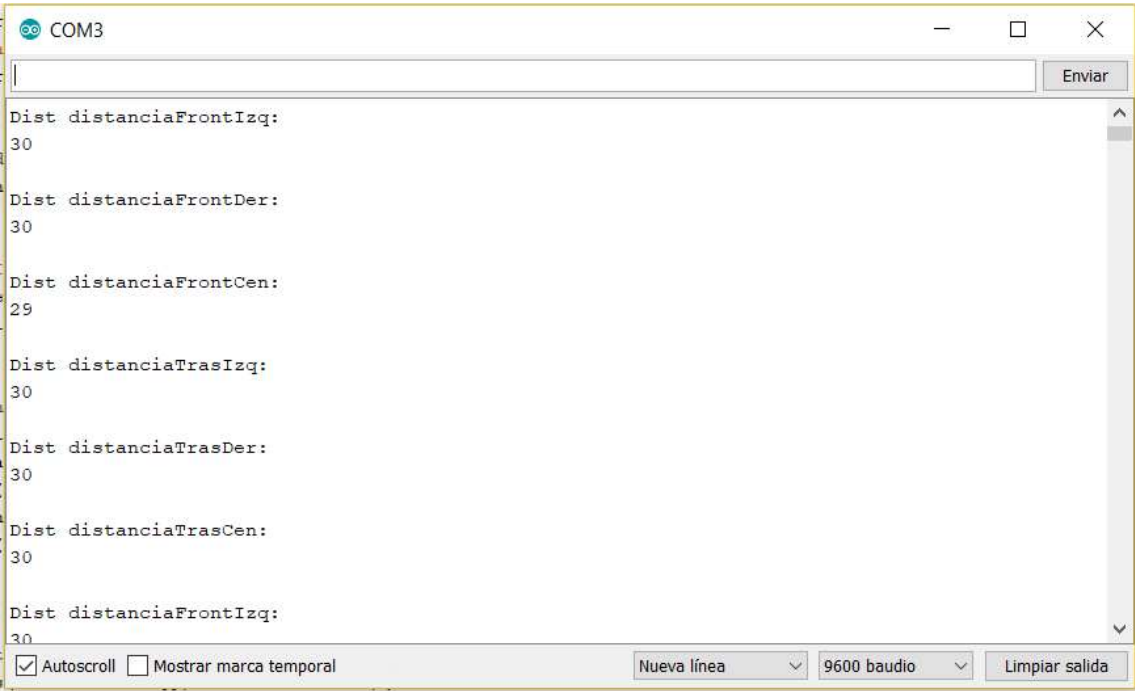


Ilustración 58 Captura de pantalla de comunicación puerto serie

| Sin obstáculos a menos de 2 metros de distancia | Obstáculo aparece a 30 cm de distancia | Obstáculo aparece a 70 cm de distancia |
|-------------------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|
| Dist distanciaFrontIzq: 220                     | Dist distanciaFrontIzq: 30             | Dist distanciaFrontIzq: 70             |
| Dist distanciaFrontDer: 219                     | Dist distanciaFrontDer: 30             | Dist distanciaFrontDer: 70             |
| Dist distanciaFrontCen: 219                     | Dist distanciaFrontCen: 29             | Dist distanciaFrontCen: 70             |
| Dist distanciaTrasIzq: 220                      | Dist distanciaTrasIzq: 30              | Dist distanciaTrasIzq: 70              |
| Dist distanciaTrasDer: 220                      | Dist distanciaTrasDer: 30              | Dist distanciaTrasDer: 69              |
| Dist distanciaTrasCen: 220                      | Dist distanciaTrasCen: 30              | Dist distanciaTrasCen: 70              |

| Obstáculo aparece a 100 cm de distancia | Obstáculo aparece a 150 cm de distancia | Obstáculo aparece a 200 cm de distancia |
|-----------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|
| Dist distanciaFrontIzq: 102             | Dist distanciaFrontIzq: 150             | Dist distanciaFrontIzq: 200             |
| Dist distanciaFrontDer: 101             | Dist distanciaFrontDer: 151             | Dist distanciaFrontDer: 201             |
| Dist distanciaFrontCen: 101             | Dist distanciaFrontCen: 150             | Dist distanciaFrontCen: 201             |



|                               |                               |                               |
|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Dist distanciaTrasIzq:<br>100 | Dist distanciaTrasIzq:<br>150 | Dist distanciaTrasIzq:<br>200 |
| Dist distanciaTrasDer:<br>102 | Dist distanciaTrasDer:<br>152 | Dist distanciaTrasDer:<br>202 |
| Dist distanciaTrasCen:<br>100 | Dist distanciaTrasCen:<br>150 | Dist distanciaTrasCen:<br>201 |

Tabla 46 Valores de distancias obtenidos a distintas distancias de obstáculo.  
Elaboración propia

Se puede comprobar en los datos la distancia de detección del. Cuando estos valores son inferiores a 2 metros, se envía una señal al piezoeléctrico correspondiente, que emite un sonido permanente mientras se detecta presencia de obstáculos (como ha podido ser comprobado experimentalmente).

Para verificar el cumplimiento del ángulo exigido se procede a introducir las mediciones realizadas con un obstáculo plano, sin irregularidades en su morfología y con tamaño de 32x24cm, utilizando el ángulo límite de detección.

Las mediciones horizontales son las siguientes:

| Distancia frontal (cm) | Distancia Izquierda (cm) | Distancia Derecha (cm) |
|------------------------|--------------------------|------------------------|
| 10                     | 3,7                      | 6,7                    |
| 20                     | 6,7                      | 11,5                   |
| 30                     | 9,5                      | 16,7                   |
| 40                     | 14,3                     | 22                     |
| 50                     | 18,5                     | 25,5                   |
| 60                     | 25,4                     | 29,5                   |
| 70                     | 32                       | 35                     |
| 80                     | 33,5                     | 39                     |
| 90                     | 42,5                     | 54                     |
| 100                    | 46                       | 59,5                   |
| 150                    | 70                       | 83                     |
| 200                    | 95                       | 111                    |

Tabla 47 Mediciones horizontales para sensor ultrasónico. Elaboración propia

La representación de los datos obtenidos se muestra en la gráfica incluida a continuación:

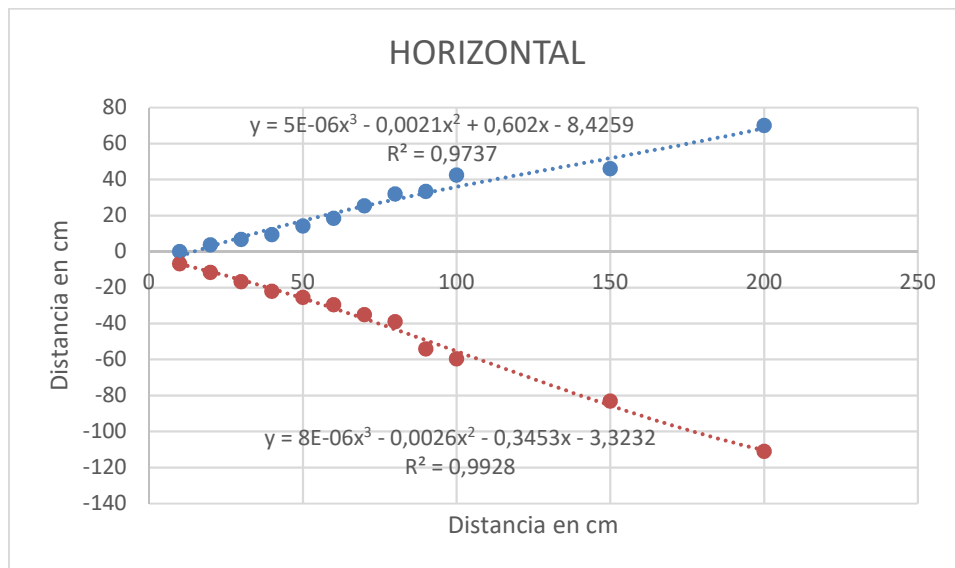


Ilustración 59 Datos obtenidos en ensayo horizontal a sensor ultrasónicos HC-SR04. Elaboración propia

Las mediciones verticales son las siguientes:

| Distancia frontal (cm) | Distancia Izquierda (cm) | Distancia Derecha (cm) |
|------------------------|--------------------------|------------------------|
| 20                     | 11                       | 7,5                    |
| 30                     | 14,5                     | 9,5                    |
| 40                     | 18,5                     | 14,5                   |
| 50                     | 26                       | 18                     |
| 64                     | 29,5                     | 22                     |
| 74                     | 32                       | 26,5                   |
| 84                     | 34,5                     | 30                     |
| 94                     | 40,5                     | 34                     |
| 105,5                  | 44,5                     | -8                     |

Tabla 48 Mediciones verticales para sensor ultrasónico. Elaboración propia

La representación de los datos obtenidos se muestra en la gráfica incluida a continuación:

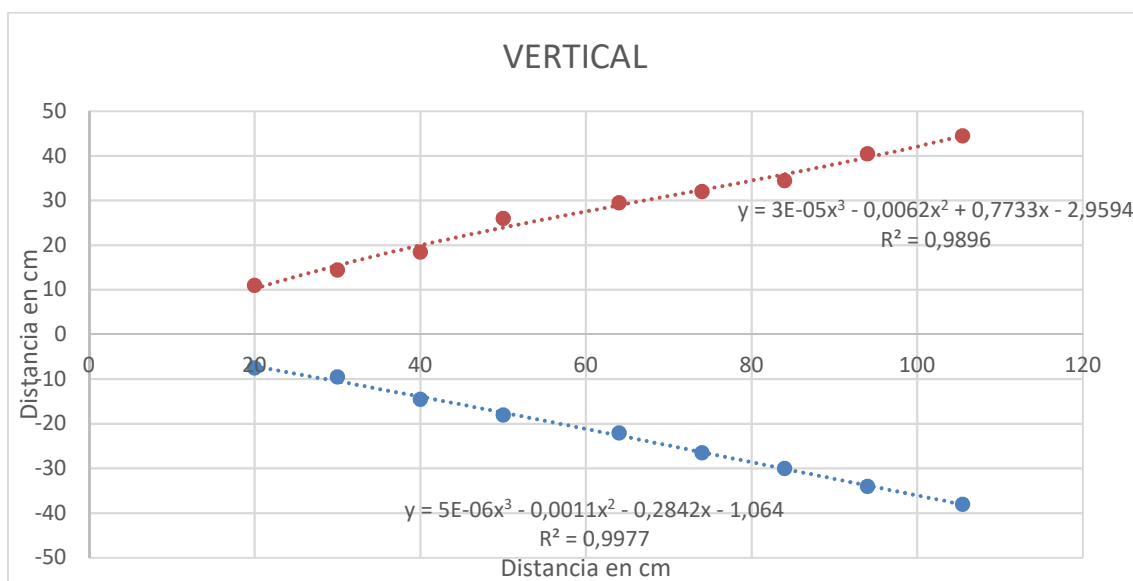


Ilustración 60 Datos obtenidos en ensayo vertical a sensor ultrasonidos HC-SR04. Elaboración propia

A continuación se procede a obtener el ángulo de las líneas de tendencia de las medidas tomadas, obteniendo un ángulo de  $51,89^\circ$  para en el plano horizontal del sensor y  $28,95^\circ$  para el plano vertical del sensor. Se puede comprobar que no es exactamente simétrico, sino que el ángulo de detección horizontal es levemente superior en el lado derecho y que el ángulo de detección vertical superior es levemente superior que el inferior.

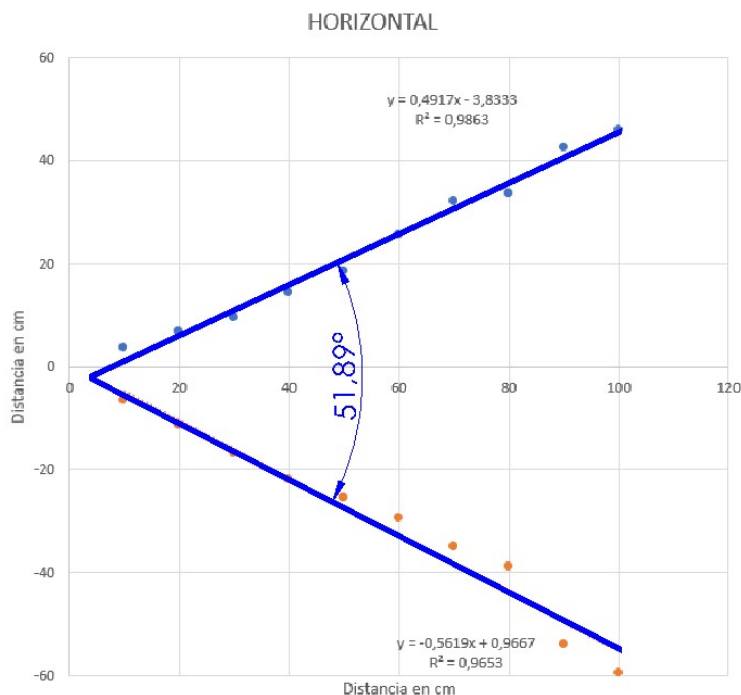
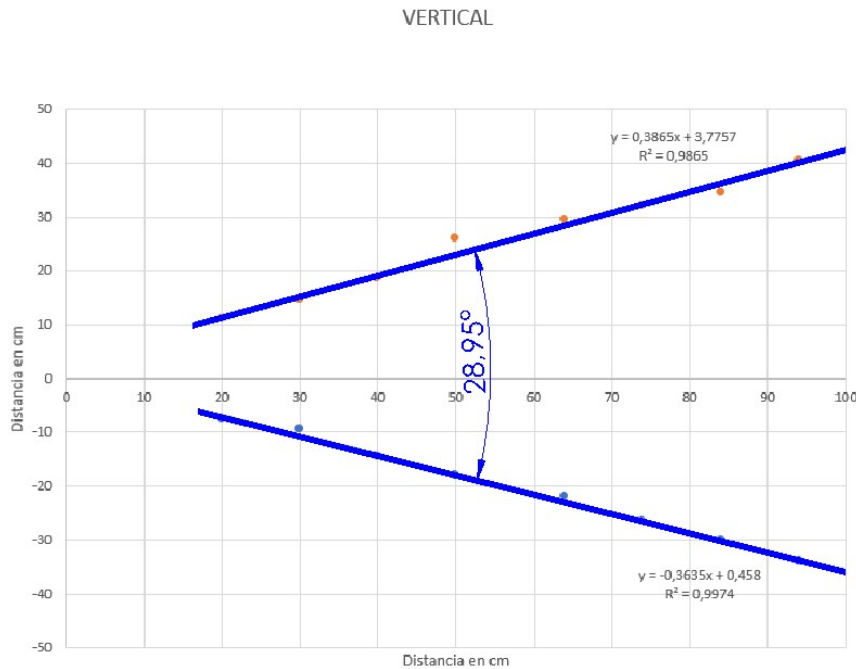


Ilustración 61 Ángulo experimental de obtención óptima horizontal en sensor HC-SR04. Elaboración propia



**Ilustración 62** Angulo experimental de obtención óptima vertical en sensor HC-SR04. Elaboración propia

Se comprueba que para una distancia máxima de 2 metros, la distancia horizontal cubierta experimental por cada sensor es de 206 cm, y vertical de 103 cm.

#### 6.4.1.3 Estudio de incertidumbres de medidas

Se procede a estudiar las incertidumbres que se cometen en las medidas tomadas con los sensores de ultrasonidos:

El error absoluto se obtiene con la siguiente ecuación:

$$\Delta d = |d_{esperada} - d_{medida}|$$

Donde:

- $\Delta d$  es el error absoluto de medida.
- $d_{esperada}$  es la distancia esperada
- $d_{medida}$  es la distancia medida.

El error relativo se obtiene con la siguiente ecuación:

$$\Delta d_{rel} (\%) = \frac{|d_{esperada} - d_{medida}|}{d_{esperada}} * 100$$

Donde:

- $\Delta d_{rel}$  es el error relativo de medida.
- $d_{esperada}$  es la distancia esperada
- $d_{medida}$  es la distancia medida.

Desviación máxima obtenida para obstáculo aparece a 30 cm de distancia:

Error absoluto:

$$\Delta d = |29 - 30| = 1$$

Error relativo:

$$\Delta d = \frac{|29 - 30|}{30} = 3,33\%$$

Desviación máxima obtenida para obstáculo que aparece a 70 cm de distancia:

Error absoluto:

$$\Delta d = |70 - 69| = 1\text{cm}$$

Error relativo:

$$\Delta d = \frac{|70 - 69|}{70} = 1,43\%$$

Desviación máxima obtenida para obstáculo que aparece a 100 cm de distancia:

Error absoluto:

$$\Delta d = |100 - 102| = 2$$

Error relativo:

$$\Delta d = \frac{|100 - 102|}{100} = 2\%$$

Desviación máxima obtenida para obstáculo que aparece a 150 cm de distancia:

Error absoluto:

$$\Delta d = |150 - 151| = 1$$

Error relativo:

$$\Delta d = \frac{|150 - 151|}{150} = 0,67\%$$

Desviación máxima obtenida para obstáculo que aparece a 200 cm de distancia:

Error absoluto:

$$\Delta d = |200 - 202| = 2$$

Error relativo:

$$\Delta d = \frac{|200 - 202|}{200} = 2\%$$

**6.4.2 Viabilidad Económica**

El coste total de generación del proyecto, como se puede comprobar en el punto 2.10, es de 4.640,00 €. El precio presupuestado del sistema de bajo coste proyectado actual es de 798,59 €, incluyendo gastos generales y el beneficio industrial.

**PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL 485,28 €**

|                                      |         |
|--------------------------------------|---------|
| Gastos generales 16% sobre P.E.M     | 77,65 € |
| Beneficio Industrial 20% sobre P.E.M | 97,06 € |
| Suma:                                | 174,71€ |

**TOTAL PRESUPUESTO SIN IVA: 659,99 €****TOTAL PRESUPUESTO CON IVA (21%): 798,59 €**

Se divide la inversión inicial del proyecto en una amortización a 5 años. La tabla realizada para el cálculo de los flujos netos de caja es la siguiente:

| Año | Ingresos   | Costes de operación | Amortización Proyecto |
|-----|------------|---------------------|-----------------------|
| 0   |            |                     |                       |
| 1   | 7.985,90 € | 4.852,80 €          | 928,00 €              |
| 2   | 7.985,90 € | 4.852,80 €          | 928,00 €              |
| 3   | 7.985,90 € | 4.852,80 €          | 928,00 €              |
| 4   | 7.985,90 € | 4.852,80 €          | 928,00 €              |
| 5   | 7.985,90 € | 4.852,80 €          | 928,00 €              |

Tabla 49 Ingresos, costes y amortización del proyecto. Elaboración propia

| Año | BAI        | IVA        | Beneficio Neto | Flujo Neto de Caja (Q) |
|-----|------------|------------|----------------|------------------------|
| 0   |            |            |                |                        |
| 1   | 2.205,10 € | 1.385,98 € | 819,12 €       | 1.747,12 €             |
| 2   | 2.205,10 € | 1.385,98 € | 819,12 €       | 1.747,12 €             |
| 3   | 2.205,10 € | 1.385,98 € | 819,12 €       | 1.747,12 €             |
| 4   | 2.205,10 € | 1.385,98 € | 819,12 €       | 1.747,12 €             |
| 5   | 2.205,10 € | 1.385,98 € | 819,12 €       | 1.747,12 €             |

Tabla 50 Flujos de caja del proyecto. Elaboración propia.

El VAN representa la ganancia neta generada por el proyecto. Se procede a calcular el VAN del presente proyecto a 5 años, para una tasa de interés del 5%. Para ello se utiliza la siguiente expresión:

$$VAN = -K + \sum_{j=1}^n \frac{Q_j}{(1+i)^j}$$

Donde:

- K es el desembolso realizado.
- $Q_j$  son los flujos de cada periodo.
- $i$  es la tasa de interés.

- $n$  es el año para el que se quiere calcular el VAN
- $j$  es el año en el que se itera.

El VAN obtenido a 5 años es el siguiente:

|            |            |
|------------|------------|
| VAN 5 años | 2.924,12 € |
|------------|------------|

Dado que el VAN es positivo, el proyecto es viable. La tasa de interna de retorno se calcula como se muestra a continuación:

$$K = \sum_{j=1}^n \frac{Q_j}{(1+r)^j}$$

Donde:

- $K$  es el desembolso realizado.
- $Q_j$  son los flujos de cada periodo.
- $r$  es la Tasa interna de retorno.
- $n$  es el año de estudio.

El valor de Tasa Interna de retorno es el que se muestra a continuación:

|     |     |
|-----|-----|
| TIR | 26% |
|-----|-----|

Dado que el TIR es superior a la tasa de descuento, se acepta el proyecto. El Pay-Back se calcula utilizando la siguiente expresión:

$$K = \sum_{j=1}^p \frac{Q_j}{(1+i)^j}$$

Donde:

- $K$  es el desembolso realizado.
- $Q_j$  son los flujos de cada periodo.
- $i$  es la tasa de interés.
- $p$  es el Pay-Back
- $j$  es el año en el que se itera.

El resultado de Pay-Back obtenido es el siguiente:

|         |      |
|---------|------|
| PAYBACK | 2,66 |
|---------|------|

Se puede comprobar que la inversión tarda 3,36 años en recuperarse según el Pay-Back. El índice de Beneficio-Coste se calcula con la expresión que se muestra a continuación:

$$IBC = \frac{K + VAN}{K}$$

Donde:

- K es el desembolso realizado.
- VAN es el Valor actual neto.

El valor obtenido de IBC es:

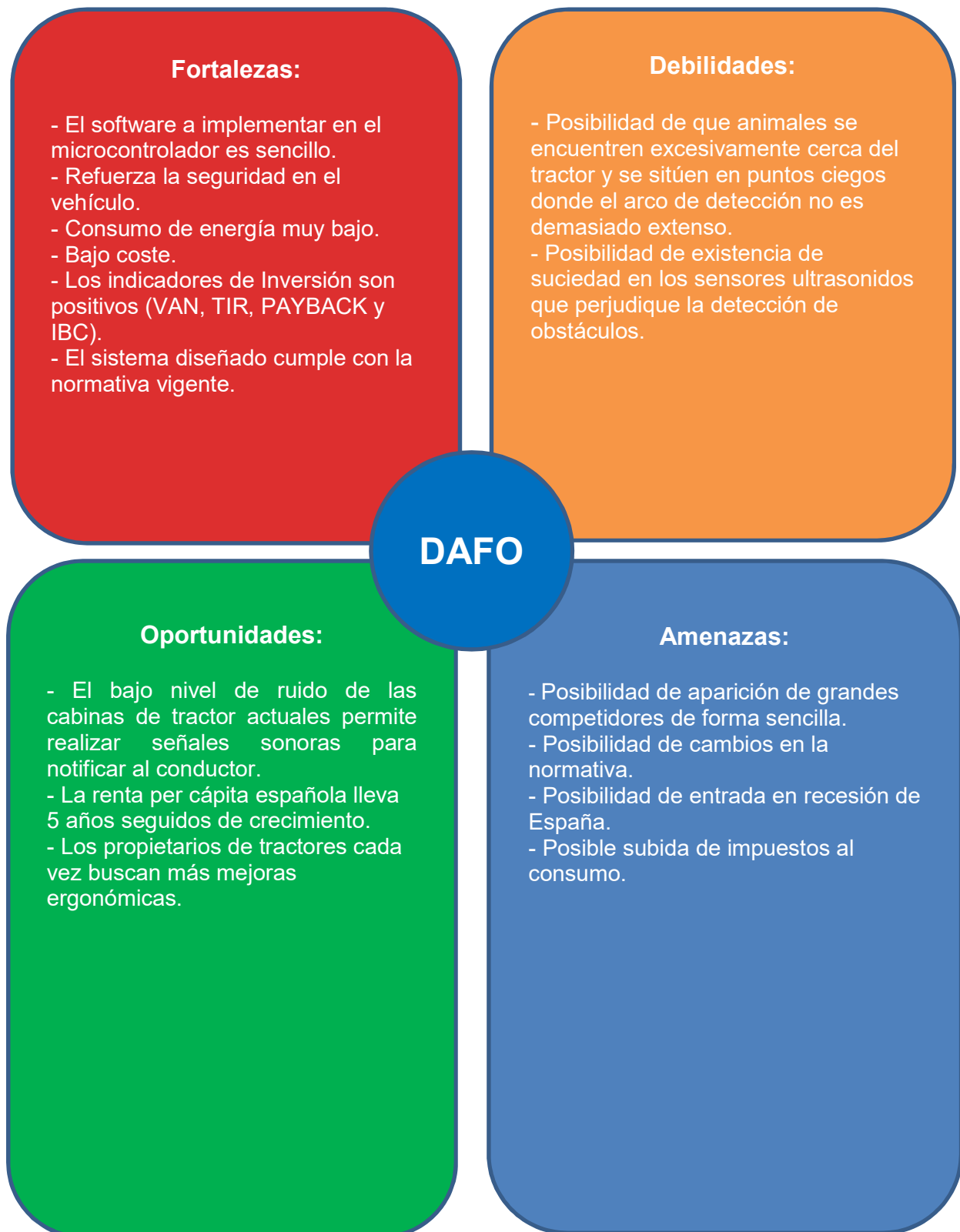
|     |      |
|-----|------|
| IBC | 1,63 |
|-----|------|



## 6.5 Anexo 5: Estudio de Mercado

### 6.5.1 Análisis DAFO de solución de cámara infrarroja complementada con sistema ultrasonido



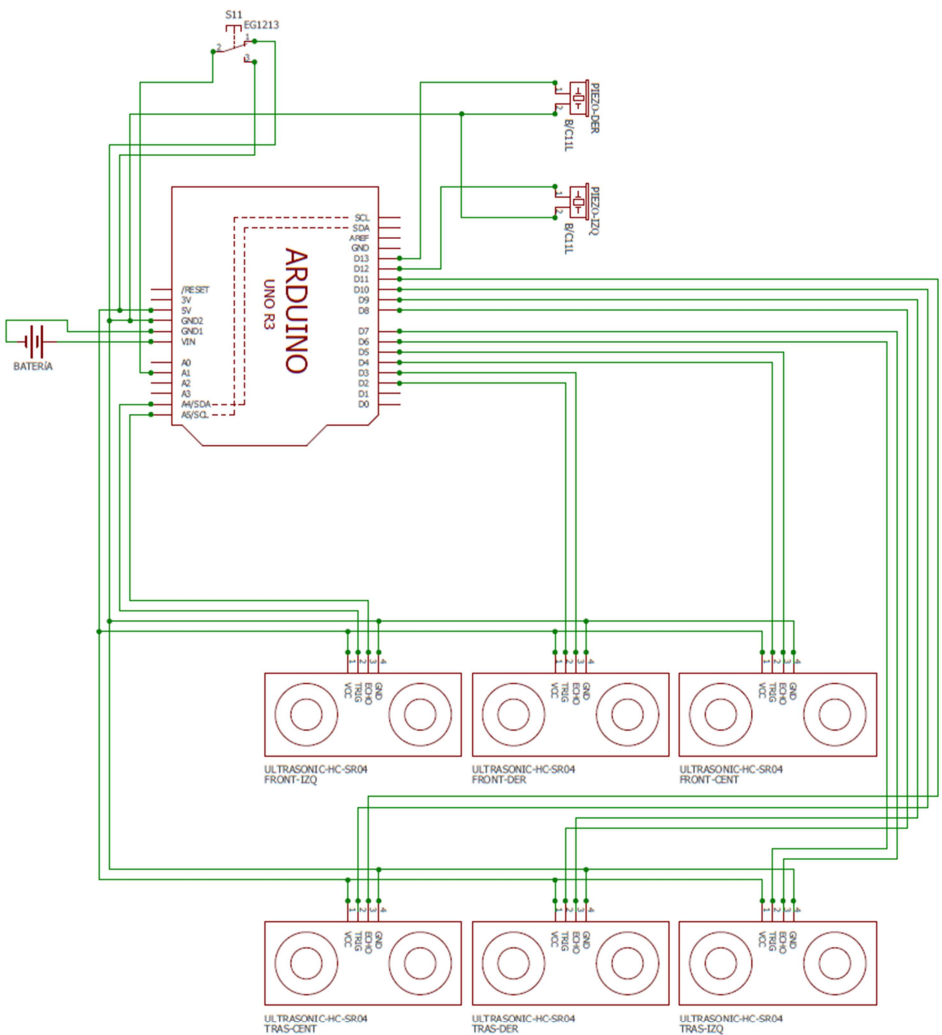
**6.5.2 Análisis DAFO de solución de exclusivamente de sensores  
ultrasónicos**



**UNIVERSIDAD DE JAÉN**  
*Escuela Politécnica Superior (Jaén)*

## **PLANOS**

**SEPTIEMBRE, 2019**



Autor:

José Pedro Checa Gutiérrez

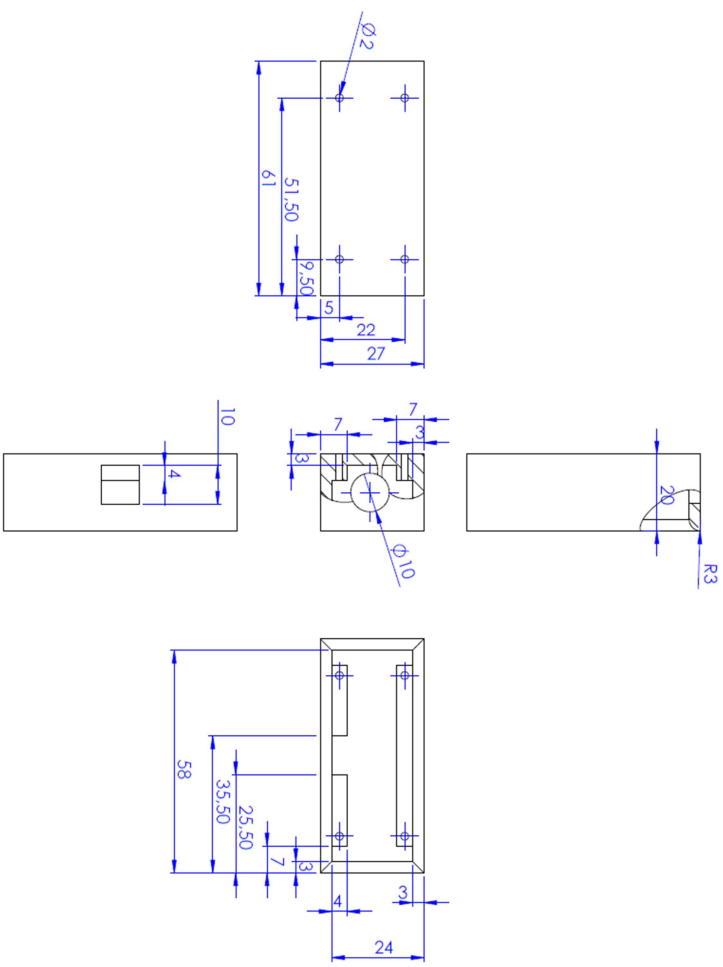
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE JAÉN

Título de TFM: ANÁLISIS DE VIABILIDAD, ESTUDIO DE MERCADO Y DESARROLLO DE ASPECTOS DE MEJORA ERGONOMÍA APLICADA A TRACTORES AGRÍCOLAS CONFORME NORMA ISO 21500 PARA GESTIÓN DE PROYECTOS

DENOMINACIÓN DEL PLANO: CIRCUITO - SISTEMA ULTRASONICO

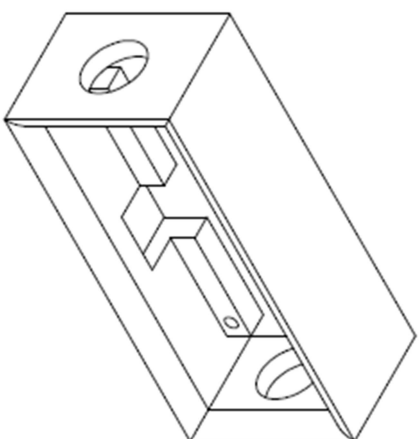
FIRMA:

NÚMERO: 1



| Nº | Componente         | Cantidad |
|----|--------------------|----------|
| 1  | Carcasa de HC-SR04 | X1       |

|                                                                                                                                                                                           |  |  |                                      |  |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|--------------------------------------|--|-----------|
| Autor:<br>José Pedro Checa Gutiérrez                                                                                                                                                      |  |  | ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE JAÉN |  |           |
| Título de TFM: ANÁLISIS DE VIABILIDAD, ESTUDIO DE MERCADO Y DESARROLLO DE ASPECTOS DE MEJORA ERGONÓMICA APLICADA A TRACTORES AGRÍCOLAS CONFORME NORMA ISO 21500 PARA GESTIÓN DE PROYECTOS |  |  |                                      |  |           |
| DENOMINACIÓN DEL PLANO: VISTAS PIEZA 1 DE CARCASA                                                                                                                                         |  |  | FIRMA:                               |  | NÚMERO: 2 |
| Escala 1:2                                                                                                                                                                                |  |  |                                      |  |           |



Autor:

José Pedro Checa Gutiérrez

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE JAÉN

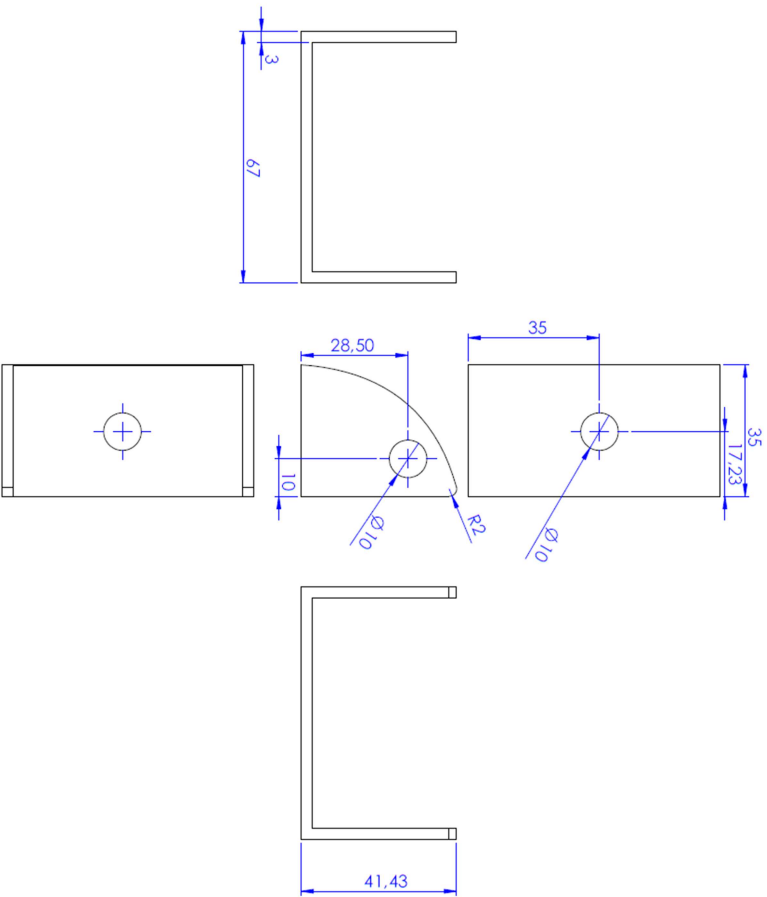
Título de TFM: ANÁLISIS DE VIABILIDAD, ESTUDIO DE MERCADO Y DESARROLLO DE ASPECTOS DE MEJORA ERGONOMICA APLICADA A TRACTORES AGRICOLAS CONFORME NORMA ISO 21500 PARA GESTION DE PROYECTOS

DEMINOMINACIÓN DEL PLANO: VISTA ISOMÉTRICA DE PIEZA 1

Escala 1:1

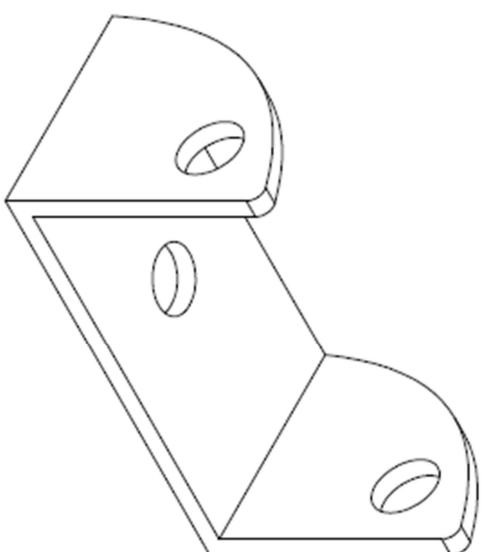
FIRMA:

NÚMERO: 3



| Nº | Componente         | Cantidad |
|----|--------------------|----------|
| 2  | Soporte de carcasa | X1       |

|                                                                                                                                                                                           |  |  |                                                                                                        |  |  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|
| Autor:<br>José Pedro Checa Gutiérrez                                                                                                                                                      |  |  | ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE JAÉN                                                                   |  |  |
| Título de TFM: ANÁLISIS DE VIABILIDAD, ESTUDIO DE MERCADO Y DESARROLLO DE ASPECTOS DE MEJORA ERGONOMICA APLICADA A TRACTORES AGRICOLAS CONFORME NORMA ISO 21500 PARA GESTIÓN DE PROYECTOS |  |  | DE MEJORA ERGONOMICA APLICADA A TRACTORES AGRICOLAS CONFORME NORMA ISO 21500 PARA GESTIÓN DE PROYECTOS |  |  |
| DENOMINACIÓN DEL PLANO: VISTAS PIEZA 2 DE CARCASA                                                                                                                                         |  |  | FIRMA:                                                                                                 |  |  |
| Escala 1:2                                                                                                                                                                                |  |  | NÚMERO: 4                                                                                              |  |  |



Autor:

José Pedro Checa Gutiérrez

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE JAÉN

Título de TFM: ANÁLISIS DE VIABILIDAD, ESTUDIO DE MERCADO Y DESARROLLO DE ASPECTOS DE MEJORA ERGONOMICA APLICADA A TRACTORES AGRICOLAS CONFORME NORMA ISO 21500 PARA GESTION DE PROYECTOS

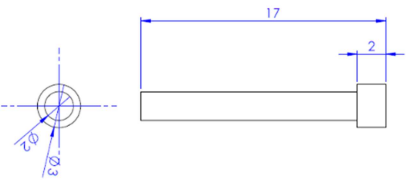
DENOMINACIÓN DEL PLANO: VISTA ISOMÉTRICA DE PIEZA 2

Escala 1:1

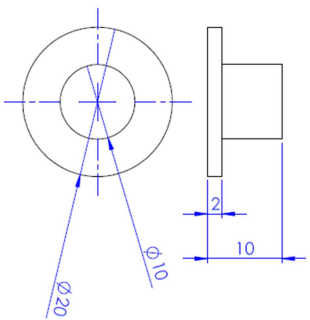
FIRMA:

NÚMERO: 5

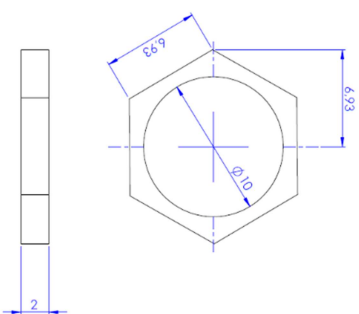




3  
Escala 2:1



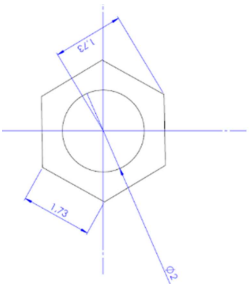
5  
Escala 1:1



6  
Escala 2:1



4  
Escala 5:1



| Nº | Componente                                     | Cantidad |
|----|------------------------------------------------|----------|
| 3  | Tornillo de sensor HC-SR04                     | X4       |
| 4  | Tuerca de tornillo sensor HC-SR04              | X4       |
| 5  | Tornillo de giro vertical de carcasa           | X2       |
| 6  | Tuerca de tornillo de giro vertical de carcasa | X2       |

Autor:

José Pedro Checa Gutiérrez

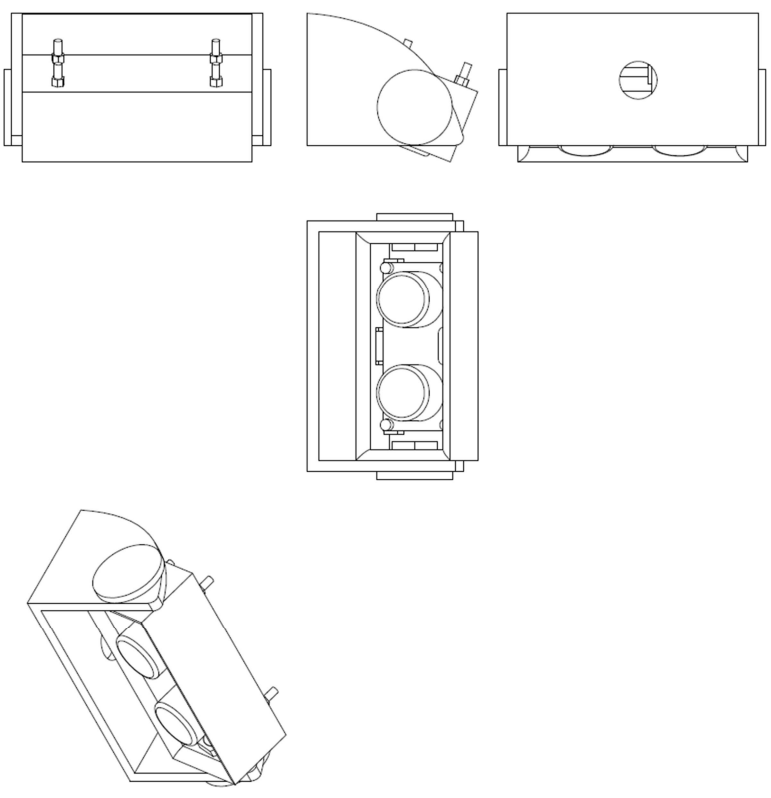
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE JAÉN

Título de TFM: ANÁLISIS DE VIABILIDAD, ESTUDIO DE MERCADO Y DESARROLLO DE ASPECTOS DE MEJORA ERGONÓMICA APLICADA A TRACTORES AGRÍCOLAS CONFORME NORMA ISO 21500 PARA GESTIÓN DE PROYECTOS

DENOMINACIÓN DEL PLANO: VISTAS DE PIEZAS DE UNIÓN

FIRMA:

NÚMERO: 6



Autor:

José Pedro Cereza Gutiérrez

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE JAÉN

Título de TFM: ANALISIS DE VIABILIDAD, ESTUDIO DE MERCADO Y DESARROLLO DE ASPECTOS DE MEJORA ERGONOMICA APLICADA A TRACTORES AGRICOLAS CONFORME NORMA ISO 21500 PARA GESTION DE PROYECTOS

DENOMINACIÓN DEL PLANO: VISTAS DE ENSAMBLAJE

Escala 1:2

FIRMA:

NÚMERO: 7



**UNIVERSIDAD DE JAÉN**  
*Escuela Politécnica Superior (Jaén)*

## **Bibliografía**

**SEPTIEMBRE, 2019**

## 8 Bibliografía

### Libros:

- [1] V. A. Dodd y P. M. Grace, *Agricultural Engineering, Volume 4: Power, processing and systems*, 1989
- [2] Project Management Institute. *Guía de los fundamentos para la dirección de Proyectos*, 2013

### Apuntes:

- [1] J. Terrados y M. Hermoso. *Apuntes de asignatura de Dirección y Gestión de Proyectos. Máster en Ingeniería Industrial*. 2017.

### Revistas:

- [1] J. García, C. Valero y J. Ortiz, *El problema del ruido en los tractores agrícolas*. *Vida rural*, 1999.
- [2] L. Márquez, *El ruido en los tractores agrícolas*. *Agrotécnica*, 2011.

### Publicaciones:

- [1] H. Takahashi, *Generality of the oficial testing system for agricultural machinery*. *Club of Bologna*, 1998.
- [2] J.D. Álvarez, *Predicción de niveles de ruido generados por industrias*. *Universidad Austral de Chile*, 2002.
- [3] M. Figueredo y A. I. Tarrero, *Diseño de un banco de pruebas para silenciadores acústicos de aplicación Industrial*. *Universidad de Valladolid*, 2016.
- [4] J.P. Evans, J. S. Price, R. T. Whyte, J.M.Bacon, D.A. Semple, A.J. Scarlett y R.M. Stayner, *Practical solutions to noise problems in agrigulture*. *Health & Safety Executive*, 2004.
- [5] M. D. Vora y R. Swarnkar, *Effect of Muffler Design on Amplitude & Sound Frequency of Tractor Noise*. *Club of Bologna*, 2016.
- [6] V. S. Jadhay y M. Ghatage, *Noise Attenuation of Diesel Engine with Different Types Mufflers*, 2000.
- [7] C.R. Mehta, M. Shyam y P. K. Sharma, *Studies on noise and vibration levels of different tractors*, 1997.
- [8] R.E. Meyer, C. V. Schwab y C. J. Bern, *Tractor Noise Exposure Levels for Bean-bar Riders*, *Iowa State University*, 1993.

[9] D. Henderson y R. P. Hamermik, *The use of Kurtosis Measurement in the Assessment of Potential Noise Trauma*, 2012

[10] U.S. Department of health and human services, *Occupational Noise Exposure, Revised Criteria*, 1998

[11] C. Ho and Ch. Spenc. *Assessing the Effectiveness of Various Auditory Cues in Capturing a Driver's Visual Attention*. 2005.

[12] J.S.Wallace and D.L.Fisher. *Sound localization: Information Theory Analysis*.1998.

[13] P. Crosby, J.Spyridakis, J. Ramey and M.Haselkorn. *A primer on usability testing for developers of traveler information systems*. 1993.

[14] A. W. Bronkhorst, J.A. Veltman and L. Breda. *Application of a Three-dimensional auditory display in a flight task*.

[15]A. Aybek, H.A.Kamer and S.Arslan. *Personal noise exposures of operators of agricultural tractors*.

[16] W. K. Dooley, *Ergonomics Centre of Excellence, Case New Holland and B. Ridge. Ergonomics and the Development of Agricultural Vehicles*.2012

[17] Najm W., Mironer M.,Koziol J., Wang J..S, & Knipling R. *Synthesis report; Examination of target vehicular crashes and potential ITS countermeasures* , 1995.

[18] Olson,P. & Sivak,M. , *Perception response time to unexpected roadway hazards*. *Human Factors*. 1986.

*Normativa:*

[1] UNE-ISO 21500 *Directrices para la dirección y Gestión de Proyectos*, 2012.

[2] *Real Decreto 286/2006 Sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición al ruido*. BOE nº 60-11-03-2006.

[3] *Directiva 2009/76/CE Relativa al nivel sonoro en los oídos de los conductores de tractores agrícolas o forestales de ruedas*.

[4] *Directiva 2003/37/CE Relativa a la homologación de los tractores agrícolas o forestales, de sus remolques y de su maquinaria intercambiable remolcada, así como de los sistemas, componentes y unidades técnicas de dichos vehículos*.

[5] *Directiva 77/311/CEE Relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros sobre el nivel sonoro en los oídos de los conductores de tractores, agrícolas o forestales, de ruedas*.

[6] *Directiva 2009/63/CE Sobre determinados elementos y características de los tractores agrícolas o forestales de ruedas*.

*[7] Directiva 2009/76/CE Relativa al nivel sonoro en los oídos de los conductores de tractores agrícolas o forestales de ruedas.*

*[8] U.S Environmental protection agency office of noise abatement and control, Proposed Wheel and crawler tractor noise emission regulation, 1977*

*[9] UNE-ISO 31000 Directrices para la gestión de Riesgos. 2018*

*Otros documentos:*

*[1] AGCO. Auditory Feedback. 8-1-2019*