

**MÓDULO DIDÁCTICO PARA PRÁCTICAS DE LABORATORIO CON  
DETECTORES DE PROXIMIDAD PARA LA ASIGNATURA  
INSTRUMENTACIÓN ELECTRÓNICA**

**Autores:**

**ZARITH FABIOLA NIÑO CASTILLO  
VICTOR EDWIN DIAZ MONROY**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELÉCTRONICA  
Y DE TELECOMUNICACIONES  
FACULTAD DE FÍSICO - MECÁNICA  
BUCARAMANGA**

**2010**

**MÓDULO DIDÁCTICO PARA PRÁCTICAS DE LABORATORIO CON  
DETECTORES DE PROXIMIDAD PARA LA ASIGNATURA  
INSTRUMENTACIÓN ELECTRÓNICA**

**Autores:**

**ZARITH FABIOLA NIÑO CASTILLO  
VICTOR EDWIN DIAZ MONROY**

**Trabajo de grado para optar el título de ingenieros electrónicos**

**Director:**

**ING. JOSÉ ALEJANDRO AMAYA PALACIO**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELÉCTRONICA  
Y DE TELECOMUNICACIONES  
FACULTAD DE FÍSICO - MECÁNICA  
BUCARAMANGA**

**2010**

## **AGRADECIMIENTOS**

### **Zarith Fabiola Niño Castillo:**

A Dios, mi fortaleza espiritual, quien me ha formado más que cualquier Universidad.

A mis Padres, José Vicente Niño y Rosario Castillo, quienes me apoyaron y se esforzaron para que lograra cumplir una meta más. Ser Profesional. Gracias por sus oraciones, amor, palabras de aliento y motivación permanente.

A todas las personas que me quieren y estuvieron hasta el día de hoy, pendientes de la evolución, haciéndome fuerza y enviándome las mejores energías del mundo; especialmente a mis hermanos, Lady, Jeisson, Jonathan, Willinton y a mi linda muñeca, Ashley.

A mi novio, Erlim Alvarado, por su paciencia y comprensión durante este proceso de formación.

Al Ing. José Alejandro Amaya Palacio, mi asesor, quien en contra del tiempo me apoyó y me orientó día a día, para lograr concluir este proyecto exitosamente. Por haber confiado en mí y haberme apoyado de manera incondicional para hacer realidad este sueño.

A mi compañero Victor Díaz por su colaboración, acompañamiento y comprensión durante esta etapa de mi vida.

**Victor Edwin Díaz Monroy:**

Agradezco a Dios por la vida y por darme las fuerzas necesarias para cumplir con las tareas diarias.

A mis padres Victoriano Diaz Gomez y Alba Ines Monroy Guerrero por confiar siempre en mí y apoyarme, a mis hermanas menores Liliana y Yennis Rocio Diaz Monroy, las cuales siempre han sido un ejemplo para mí y un apoyo constante.

A nuestro director, el ingeniero José Alejandro Amaya Palacio, el cual puso su empeño en que este proyecto nos brindara el conocimiento necesario para su realización y de retos futuros, a mi compañera Zarith por hablarme del proyecto y por muchas de sus recomendaciones claves durante el proceso.

A todos los docentes que con paciencia nos enseñaron las cosas que también con tanto esfuerzo y dedicación han aprendido y en general a todos mis amigos, amigas y personas que han estado a mi lado para apoyarme y brindarme su mano cuando los necesité.

## TABLA DE CONTENIDO

|   |    |
|---|----|
| INTRODUCCIÓN .....  | 17 |
| 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....  | 19 |
| 2. JUSTIFICACIÓN.....   | 20 |
| 3. OBJETIVOS.....   | 21 |
| 3.1 Objetivo general.....   | 21 |
| 3.2 Objetivos específicos.....  | 21 |
| 3.3 Alcance.....  | 22 |
| 4. DEFINICIÓN, CLASIFICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LOS<br>SENSORES.....    | 23 |
| 4.1 Sensores de medida.....   | 24 |
| 4.2 Sensores todo- nada.....  | 25 |
| 4.2.1 Salida a tres hilos.....  | 25 |
| 4.2.2 Sensores de dos hilos.....  | 27 |
| 4.2.3 Sensores de cuatro hilos.....                                       | 29 |
| 4.2.4 Sensores con salida de tipo relé.....                               | 29 |
| 4.3 Efectos ambientales.....  | 32 |
| 4.4 Grado de protección ambiental de los sensores industriales.....       | 34 |
| 4.5 Forma de variación de la magnitud de entrada.....                     | 36 |
| 4.6 Características eléctricas del sensor.....                            | 37 |
| 4.7 Características de aislamiento.....                                   | 40 |
| 5. SENSORES CAPACITIVOS.....  | 41 |
| 5.1 Principio de funcionamiento.....                                      | 42 |
| 5.2 Diseño blindado o diseño no blindado.....                             | 43 |
| 5.2.1 Sonda blindada.....   | 43 |
| 5.2.2 Sonda no blindada.....  | 44 |
| 5.3 Consideraciones relativas al objeto.....                              | 45 |
| 5.4 Ventajas y desventajas de los sensores de proximidad capacitivos..... | 47 |
| 5.4.1 Ventajas.....   | 47 |
| 5.4.2 Desventajas.....  | 47 |
| 5.5 Aplicaciones del sensor capacitivo.....                               | 48 |
| 6. SENSORES INDUCTIVOS.....   | 51 |
| 6.1 Principio de funcionamiento.....                                      | 52 |
| 6.1.1 Efecto magnético.....   | 53 |
| 6.1.2 Efecto eléctrico.....   | 54 |
| 6.2 Diseño blindado o no blindado.....                                    | 54 |
| 6.2.1 Diseño blindado.....  | 55 |
| 6.2.2 Diseño no blindado.....   | 55 |
| 6.3 Consideraciones de espaciado.....                                     | 56 |
| 6.4 Consideraciones relativas al objeto.....                              | 57 |
| 6.4.1 Efectos del material del objeto.....                                | 57 |

|         |  |     |
|---------|--|-----|
| 6.4.2   | Efectos del tamaño y la forma del objeto.....                          | 59  |
| 6.4.3   | Movimiento de objetos.....   | 59  |
| 6.5     | Ventajas y desventajas de los sensores de proximidad inductivos.....   | 60  |
| 6.5.1   | Ventajas.....  | 60  |
| 6.5.2   | Desventajas.....   | 61  |
| 6.6     | Aplicaciones del sensor inductivo.....                                 | 61  |
| 7.      | SENSOR FOTOELÉCTRICO.....  | 63  |
| 7.1     | Principio de funcionamiento.....                                       | 67  |
| 7.2     | Margen de detección.....   | 67  |
| 7.3     | Clasificación de los sensores fotoeléctricos.....                      | 71  |
| 7.3.1   | Sensores retrorreflectivos.....  | 71  |
| 7.3.2   | Sensores retrorreflectivos polarizados.....                            | 72  |
| 7.3.3   | Detección de haz transmitido.....                                      | 73  |
| 7.4     | Ventajas de los sensores fotoeléctricos.....                           | 74  |
| 7.5     | Aplicaciones De Los sensores fotoeléctricos.....                       | 76  |
| 8.      | SENSOR ULTRASÓNICO.....  | 77  |
| 8.1     | Principio de funcionamiento.....                                       | 78  |
| 8.2     | Consideraciones relativas al objeto.....                               | 79  |
| 8.3     | Características de los sensores ultrasónicos.....                      | 80  |
| 8.4     | Ventajas y desventajas de los sensores de proximidad ultrasónicos..... | 82  |
| 8.4.1   | Ventajas.....  | 82  |
| 8.4.2   | Desventajas.....   | 82  |
| 8.5     | Aplicaciones De Los sensores ultrasónicos.....                         | 83  |
| 9.      | CONSTRUCCIÓN DEL MÓDULO.....   | 85  |
| 9.1     | Selección de sensores, elementos y materiales a usar.....              | 85  |
| 9.1.1   | Listado de elementos a usar.....                                       | 85  |
| 9.2     | Diseño.....  | 101 |
| 9.2.1   | Dimensiones del módulo.....  | 103 |
| 10.     | INFORME DE RESULTADOS.....   | 112 |
| 10.1    | Creación de las guías de laboratorio.....                              | 112 |
| 10.2    | Contenido de las guías para el módulo didáctico de sensores.....       | 113 |
| 10.3    | Contenido específico de cada guía.....                                 | 114 |
| 11.     | CONCLUSIONES.....  | 117 |
| 11.1    | Conclusiones objetivo general.....                                     | 117 |
| 11.2    | conclusiones objetivos específicos.....                                | 117 |
| ANEXOS. | .....  | 123 |

## LISTA TABLAS

|   |     |
|---|-----|
| <b>TABLA 1.</b> SIGNIFICADO DE LAS CIFRAS DEL GRADO DE PROTECCIÓN AMBIENTAL DE ACUERDO CON LA NORMA IEC 60529 ..... | 35  |
| <b>TABLA 2</b> CONSTANTES DIELECTRICAS DE MATERIALES INDUSTRIALES COMUNES. ....                                     | 46  |
| <b>TABLA 3</b> FACTORES DE CORRECCIÓN .....   | 58  |
| <b>TABLA 4.</b> SENSOR LASER. ....  | 87  |
| <b>TABLA 5.</b> SENSOR CAPACITIVO. ....   | 89  |
| <b>TABLA 6.</b> SENSOR ULTRASÓNICO. ....  | 90  |
| <b>TABLA 7.</b> SENSOR INDUCTIVO. ....  | 93  |
| <b>TABLA 8.</b> SENSOR FOTOELÉCTRICO TIPO BARRERA. ....   | 95  |
| <b>TABLA 9.</b> SENSOR FOTOELÉCTRICO AUTO-RÉFLEX. ....  | 96  |
| <b>TABLA 10.</b> SENSOR FOTOELÉCTRICO RÉFLEX. ....  | 97  |
| <b>TABLA 11.</b> DISTANCIA A SEGÚN DIMENSIONES DE LOS CATÁLOGOS DE VENTA PARA SENSORES FOTOELÉCTRICOS SIEMENS. .... | 107 |

## LISTA FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| <b>FIGURA. 1</b> COMPONENTES BÁSICOS DE UN SENSOR.....  | 24 |
| <b>FIGURA. 2</b> SENSORES TODO-NADA DE TRES HILOS: A) CARGA CONECTADA AL POSITIVO DE LA FUENTE DE ALIMENTACIÓN; B) CARGA CONECTADA AL NEGATIVO DE LA FUENTE DE ALIMENTACIÓN. .... | 26 |
| <b>FIGURA. 3</b> SENSORES TODO-NADA DE TRES HILOS CUYA SALIDA ESTÁ REALIZADA CON TRANSISTORES NPN: A) CON RESISTENCIA DE CARGA; B) SIN RESISTENCIA DE CARGA. ....                 | 26 |
| <b>FIGURA. 4</b> SENSORES TODO-NADA DE TRES HILOS CUYA SALIDA ESTÁ REALIZADA CON TRANSISTORES PNP: A) CON RESISTENCIA DE CARGA; B) SIN RESISTENCIA DE CARGA. ....                 | 27 |
| <b>FIGURA. 5</b> SENSORES TODO-NADA DE DOS HILOS: A) ALIMENTACIÓN EN CONTINUA; B) ALIMENTACIÓN EN ALTERNA. ....   | 28 |
| <b>FIGURA. 6</b> SENSOR TODO-NADA DE CUATRO HILOS QUE POSEE UNA SALIDA REALIZADA CON UN TRANSISTOR PNP Y OTRA CON UN TRANSISTOR NPN. ....   | 30 |
| <b>FIGURA. 7</b> SENSORES TODO-NADA DE CUATRO HILOS: A) REALIZADO CON TRANSISTORES PNP; B) REALIZADO CON TRANSISTORES NPN.....  | 30 |
| <b>FIGURA. 8</b> DIFERENTES TIPOS DE CONTACTOS DE UN RELÉ. ....   | 31 |
| <b>FIGURA. 9</b> CIRCUITO DE PROTECCIÓN ESTÁ CONSTITUIDO POR UN DIODO D EN PARALELO CON LA CARGA. ....  | 31 |
| <b>FIGURA. 10</b> DETERMINACIÓN DE LAS DERIVAS TÉRMICAS DEL CERO Y DEL FONDO DE ESCALA DE UN SENSOR.....  | 33 |
| <b>FIGURA. 11</b> ESQUEMA DE CONEXIÓN ENTRE UN SENSOR ANALÓGICO PASIVO, LA FUENTE DE ALIMENTACIÓN Y LA CARGA.....   | 38 |
| <b>FIGURA. 12</b> OPERACIÓN DEL SENSOR DE PROXIMIDAD CAPACITIVO. ....   | 41 |
| <b>FIGURA. 13</b> SENSORES BLINDADOS RASANTES.....  | 43 |
| <b>FIGURA. 14</b> A) SONDA BLINDADA B) NO BLINDADA. ....  | 44 |
| <b>FIGURA. 15</b> DISEÑO NO BLINDADO MONTADO SOBRE METAL. ....  | 45 |
| <b>FIGURA. 16</b> DETECCIÓN CAPACITIVA A TRAVÉS DE UN DEPÓSITO. ....  | 46 |
| <b>FIGURA. 17</b> DETECCIÓN DE NIVEL A TRAVÉS DE UNA BARRERA. ....  | 48 |
| <b>FIGURA. 18</b> LA DETECCIÓN DE NIVEL EN UNA TOLVA. ....  | 49 |
| <b>FIGURA. 19</b> DETECCIÓN DE PRODUCTOS A TRAVÉS DEL EMBALAJE.....   | 50 |
| <b>FIGURA. 20</b> PROXIMIDAD INDUCTIVA TÍPICA.....  | 51 |
| <b>FIGURA. 21</b> TRANSDUCTOR INDUCTIVO SIN OBJETO A DETECTAR. ....   | 53 |
| <b>FIGURA. 22</b> DISTANCIA DE DETECCIÓN NOMINAL TÍPICA CON BLINDAJE O SIN BLINDAJE. ..   | 54 |
| <b>FIGURA. 23</b> CONJUNTO DE NÚCLEO Y BOBINA DE DISEÑO A) BLINDADO B) NO BLINDADO..  | 55 |
| <b>FIGURA. 24</b> ESPACIADO PARA SENSORES BLINDADOS CONTIGUOS Y MONTADOS UNO AL FRENTE DEL OTRO.....  | 56 |
| <b>FIGURA. 25</b> ESPACIADO PARA SENSORES NO BLINDADOS CONTIGUOS Y MONTADOS UNO AL FRENTE DEL OTRO.....   | 57 |

|                    |   |            |
|--------------------|---|------------|
| <b>FIGURA. 26</b>  | <b>FACTORES DE CORRECCIÓN TÍPICOS.</b>  | <b>58</b>  |
| <b>FIGURA. 27</b>  | <b>MÁQUINAS HERRAMIENTAS.</b>   | <b>61</b>  |
| <b>FIGURA. 28</b>  | <b>DETECCIÓN DE LA PRESENCIA DE UN COJINETE EN UN PISTÓN.</b>                     | <b>62</b>  |
| <b>FIGURA. 29</b>  | <b>CLASIFICACIÓN DE PIEZAS EN LÍNEA.</b>  | <b>62</b>  |
| <b>FIGURA. 30</b>  | <b>COMPONENTES DE UN SENSOR FOTOELÉCTRICO.</b>                                    | <b>63</b>  |
| <b>FIGURA. 31</b>  | <b>RESPUESTA ESPECTRAL.</b>   | <b>65</b>  |
| <b>FIGURA. 32</b>  | <b>LED Y FOTODETECTOR CON Y SIN LENTES.</b>                                       | <b>66</b>  |
| <b>FIGURA. 33</b>  | <b>CAMPO DE VISIÓN FRENTE A DISTANCIA DE DETECCIÓN RELATIVA.</b>                  | <b>67</b>  |
| <b>FIGURA. 34</b>  | <b>CAMPO DE VISIÓN FRENTE A FACILIDAD DE ALINEACIÓN.</b>                          | <b>68</b>  |
| <b>FIGURA. 35</b>  | <b>CONTORNO DEL HAZ.</b>  | <b>69</b>  |
| <b>FIGURA. 36</b>  | <b>DISTANCIA DE DETECCIÓN.</b>  | <b>70</b>  |
| <b>FIGURA. 37</b>  | <b>DETECCIÓN A) RETRORREFLECTIVA B) RETRORREFLECTIVA POLARIZADA.</b>              | <b>72</b>  |
| <b>FIGURA. 38</b>  | <b>DETECCIÓN DE RESIDUOS EN RODILLOS.</b>   | <b>73</b>  |
| <b>FIGURA. 39</b>  | <b>HAZ EFECTIVO.</b>  | <b>74</b>  |
| <b>FIGURA. 40</b>  | <b>DETECCIÓN DE DOBLE HOJA.</b>   | <b>76</b>  |
| <b>FIGURA. 41</b>  | <b>DETECCIÓN DE FLANCOS O BORDES MECÁNICAMENTE CONVERGENTES.</b>                  | <b>76</b>  |
| <b>FIGURA. 42</b>  | <b>COMPONENTES DE UN SENSOR DE PROXIMIDAD ULTRASÓNICO.</b>                        | <b>77</b>  |
| <b>FIGURA. 43</b>  | <b>DISTANCIA DE DETECCIÓN ULTRASÓNICA.</b>  | <b>80</b>  |
| <b>FIGURA. 44</b>  | <b>ESPACIADOS DE REFERENCIA.</b>  | <b>81</b>  |
| <b>FIGURA. 45</b>  | <b>MEDICIÓN DE DISTANCIAS, ALTURAS Y POSICIONAMIENTO DE PIEZAS.</b>               | <b>83</b>  |
| <b>FIGURA. 46</b>  | <b>CONTROL DE NIVEL EN DEPÓSITOS (CONTENIDO GRANULAR O LÍQUIDO).</b>              | <b>84</b>  |
| <b>FIGURA. 47.</b> | <b>DIMENSIONES DEL SENSOR CAPACITIVO.</b>   | <b>90</b>  |
| <b>FIGURA. 48.</b> | <b>CONEXIÓN PARA SENSORES CON 3 HILOS. (NA Y NC) Y CONECTOR M12. DE 4 POLOS.</b>  | <b>92</b>  |
| <b>FIGURA. 49.</b> | <b>DIAGRAMA DE COLORES PARA CONEXIÓN DE 4 HILOS.</b>                              | <b>92</b>  |
| <b>FIGURA. 50.</b> | <b>VISUALIZADOR DA5-IU-2K-V.</b>  | <b>100</b> |
| <b>FIGURA. 51.</b> | <b>EL MÓDULO Y SUS PARTES PRINCIPALES.</b>  | <b>102</b> |
| <b>FIGURA. 52.</b> | <b>DISTANCIA DEL SENSOR ULTRASÓNICO CON RESPECTO A LA SUPERFICIE.</b>             | <b>103</b> |
| <b>FIGURA. 53.</b> | <b>VISTA LATERAL DEL MÓDULO. (DIMENSIONES EN MM).</b>                             | <b>104</b> |
| <b>FIGURA. 54.</b> | <b>DIMENSIONES DEL SENSOR ULTRASÓNICO.</b>  | <b>105</b> |
| <b>FIGURA. 55.</b> | <b>VISTA FRONTAL DEL MÓDULO.</b>  | <b>106</b> |
| <b>FIGURA. 56</b>  | <b>DISTANCIA MÍNIMA ENTRE SENSORES FOTOELÉCTRICOS.</b>                            | <b>107</b> |
| <b>FIGURA. 57.</b> | <b>ZONA DE DETECCIÓN DEL SENSOR CAPACITIVO.</b>                                   | <b>108</b> |
| <b>FIGURA. 58.</b> | <b>DISTANCIA ENTRE SENSORES INDUCTIVOS 3RG4024-0KB00 SIEMENS.</b>                 | <b>109</b> |
| <b>FIGURA. 59.</b> | <b>DISTANCIA ENTRE SENSORES INDUCTIVOS 3RG4014-3AG01 SIEMENS.</b>                 | <b>110</b> |
| <b>FIGURA. 60</b>  | <b>LVDT.</b>  | <b>123</b> |
| <b>FIGURA. 61</b>  | <b>BOBINADO DEL LVDT.</b>   | <b>124</b> |
| <b>FIGURA. 62.</b> | <b>VOLTAJE DE SALIDA CON RESPECTO A LA POSICIÓN.</b>                              | <b>125</b> |
| <b>FIGURA. 63</b>  | <b>SOLUCIÓN DE ACONDICIONADOR DE SEÑAL LVDT CON EL AD698.</b>                     | <b>126</b> |
| <b>FIGURA. 64</b>  | <b>RELACIÓN ENTRE EL DESLIZADOR Y LA REGLA DEL INDUCTOSYN LINEAL.</b>             | <b>127</b> |
| <b>FIGURA. 65</b>  | <b>DETERMINACIÓN DE LA NO LINEALIDAD DE LA RESPUESTA DE UN SENSOR.</b>            | <b>129</b> |
| <b>FIGURA. 66</b>  | <b>REPETIBILIDAD.</b>   | <b>133</b> |
| <b>FIGURA. 67</b>  | <b>CURVAS DE RESPUESTA EN FRECUENCIA DE DOS SENSORES INDUSTRIALES DIFERENTES.</b> | <b>134</b> |

|  |     |
|--|-----|
| <b>FIGURA. 68</b> RESPUESTA TRANSITORIA DE UN SENSOR. .... | 136 |
|--|-----|

**LISTA ANEXOS**

|  |     |
|--|-----|
| ANEXO A OTROS TIPOS DE SENSORES INDUCTIVOS.....                      | 123 |
| ANEXO B CARACTERÍSTICAS GENERALES EN ELEMENTOS DE MEDICIÓN.<br>..... | 128 |
| ANEXO C GUÍAS DE LABORATORIO.....                                    | 139 |

## RESUMEN

### TÍTULO

MÓDULO DIDÁCTICO PARA PRÁCTICAS DE LABORATORIO CON DETECTORES DE PROXIMIDAD PARA LA ASIGNATURA INSTRUMENTACIÓN ELECTRÓNICA\*

### AUTORES

ZARITH FABIOLA NIÑO CASTILLO  
VICTOR EDWIN DÍAZ MONROY

### PALABRAS CLAVES

Proximidad, presencia, sensor, principio de funcionamiento.

### DESCRIPCIÓN

En el presente trabajo se describen las características generales acerca de algunos de los sensores empleados en la industria para detección de presencia y proximidad, clasificándolos según el principio de funcionamiento (Capacitivos, inductivos, ultrasónicos y fotoeléctricos) y presentado dentro de esta clasificación la manera en la que operan cuando determinado material con ciertas cualidades físicas (color, dimensiones, etc.) se aproxima hacia él y logra ser detectado. De acuerdo a lo anterior se establecen ventajas y desventajas con las cuales se determinan aplicaciones industriales para cada uno de estos sensores.

Basado en la documentación se procede a realizar el *Módulo didáctico para prácticas de laboratorio con detectores de proximidad para la asignatura Instrumentación Electrónica*, proceso que comienza con la selección de los sensores que integrarán el módulo (7 sensores de proximidad y un sensor de distancia con función especial para detección de proximidad), teniendo en cuenta parámetros como rangos de detección, funciones especiales, tensiones eléctricas de alimentación e hilos de conexión para entrada y salida.

Cada sensor seleccionado cuenta con una hoja de datos en la cual se observan las especificaciones que se deben tener en cuenta al momento de su instalación, algunas de estas especificaciones se refieren a las distancias entre sensores y entre sensores y superficies que se deben cumplir para el correcto funcionamiento, llegando a ser estas las que determinaron las dimensiones del módulo didáctico.

El presente trabajo concluye con el diseño de unas guías para prácticas de laboratorio, con ellas asegurando un mejor aprovechamiento del módulo didáctico al momento de la práctica. En donde en la primera guía se plantea el conocimiento del módulo, la segunda aborda el análisis del comportamiento de los sensores capacitivo e inductivo y en la tercera guía se hace énfasis en características especiales de los sensores fotoeléctricos y ultrasónicos.

---

\* Trabajo de grado.

\*\* Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Ingeniería Electrónica. Director José Alejandro Amaya Palacio.

## SUMMARY

### TITLE

MÓDULO DIDÁCTICO PARA PRÁCTICAS DE LABORATORIO CON DETECTORES DE PROXIMIDAD PARA LA ASIGNATURA INSTRUMENTACIÓN ELECTRÓNICA\*

### AUTHORES

ZARITH FABIOLA NIÑO CASTILLO  
VICTOR EDWIN DÍAZ MONROY\*\*

### KEY WORDS

Proximity, presence, sensors, operating principles.

### DESCRIPTION

This paper describes the general characteristics about some of the sensors used by industry for detecting presence and proximity, by classifying them according to operating principles (Capacitive, inductive, ultrasonic and photoelectric), and by showing up in this classification the way they behave when a specific material with certain physical qualities (color, dimensions, etc.) approaches to this and achieves to be detected. According as above, are established advantages and disadvantages which determine industrial applications for each one of this sensors.

Based on this data, it is carried out the "*Módulo didáctico para prácticas de laboratorio con detectores de proximidad para la asignatura Instrumentación Electrónica*", this process starts by selecting the sensors which will integrate the module (7 proximity sensors and a distance sensor with special function to proximity detection) taking into account parameters like detections ranges, special functions, supply electric voltages and number of input and output wires.

Every selected sensor has a datasheet, which allows the observation about specifications to take into account in the installation. Some of these requirements refer to the distances between sensors and sensor and surfaces that have to be considered to correct operation, becoming these which determined the module dimensions.

This study finishes with the design of three guides for working in lab practices, assuring with themselves a better usage of the didactic module during the practice. While the first guide stands the knowledge of the module, the second one deals with the analysis of the behavior of capacitive and inductive sensors and the third and last one emphasizes in special characteristics about photoelectric and ultrasonic sensors.

---

\* Degree work.

\*\* Faculty physicommechanical. Electronic Engineering. Director: José Alejandro Amaya Palacio.

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad los esfuerzos y el trabajo por desarrollar productos con mayor rapidez y con una mayor eficacia en términos de costo nunca se detiene. Gracias a la automatización de procesos, los fabricantes pueden lograr estos objetivos y mantener, a la vez, niveles de calidad y confiabilidad más altos. La detección de presencia se utiliza para monitorear, regular y controlar estos procesos; en concreto, los sensores de presencia ayudan a comprobar que los pasos fundamentales del proceso se realicen como es debido.

A partir de este análisis se decide realizar el *Módulo didáctico para prácticas de laboratorio con detectores de proximidad para la asignatura Instrumentación Electrónica*. En este proyecto encontrará la información que necesita sobre la aplicación de sensores de presencia. Este documento ha sido creado para personas encargadas del estudio de tecnologías de detección de presencia.

En este libro se combinan la teoría básica de los sensores más predominantes con ejemplos de aplicaciones, lo cual permite comprender el concepto de estas tecnologías además de su relación con procesos industriales generales.

En el cuarto capítulo se da inicio a la documentación teórica referente a sensores de proximidad, dando a conocer en éste la definición y características de dichos instrumentos como parte de procesos industriales. En donde uno de los puntos más relevante son las normas de seguridad que le dan el grado de dispositivo industrial. Se hace referencia además a las diferentes clases de sensores.

En los cuatro capítulos siguientes se presentan los sensores capacitivos, inductivos, fotoeléctricos y ultrasónicos. Dando a conocer de ellos características su principio de funcionamiento, los elementos que componen estos dispositivos,

las ventajas y desventajas que se presentan al emplearlos en determinados procesos, y algunas de las aplicaciones industriales. Luego de haber presentado estos cuatro tipos de sensores se da inicio al capítulo correspondiente al diseño y construcción del módulo.

En este capítulo se explican los pasos que se tuvieron en cuenta para la construcción del módulo, se presentan las pautas que se siguieron al momento de seleccionar los dispositivos que serán ubicados en su interior. Se describen en este capítulo también las dimensiones del banco de trabajo y las características del mismo, el material de construcción y sus cualidades.

El presente trabajo concluye con el diseño de unas prácticas de laboratorio, asegurando un mejor aprovechamiento del módulo didáctico al momento de la práctica y las recomendaciones pertinentes.

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Con el fin de acercar el conocimiento por parte de los estudiantes al entorno industrial, se está adelantando por parte de la E3T un proyecto para implementación de una sala Con automatización totalmente integrada (Sala *TIA*), como este proyecto se tramita a través del Banco de proyectos de la UIS, se requiere ir adelantando tareas puntuales para atender necesidades inmediatas en las diferentes asignaturas. Dentro de estas tareas se ha planteado la construcción de este módulo didáctico con el fin de fortalecer la temática de sensores y detectores de proximidad considerando los diferentes principios de funcionamiento y parámetros de desempeño.

El realizar este módulo didáctico, para el laboratorio es poder brindar una herramienta práctica con la cual se pueda llevar acabo determinadas prácticas en las que se podrán observar por ejemplo los diferentes fenómenos que ocurren cuando un elemento de determinado material entra en la zona detección de algún sensor específico. Y de esta manera contribuir con la enseñanza y servir como material de apoyo en las asignaturas que lo requieran, además poder llegar a conocer la manera en que participan en un determinado proceso en la industria.

## 2. JUSTIFICACIÓN

La realización de este trabajo como proyecto de grado tiene como principal razón satisfacer una necesidad presente en el laboratorio de algunas asignaturas de la escuela ingeniería eléctrica, electrónica y telecomunicaciones ya que se encontró que no existe hasta el momento una herramienta que permita a los estudiantes resolver dudas y realizar prácticas en lo correspondiente a sensores de posición y proximidad enfocados a la instrumentación.

El continuo avance de la tecnología ha generado nuevos dispositivos, los cuales es necesario conocer, y de la mano con estos instrumentos normas que rigen su forma de uso, por lo tanto la idea fundamental es brindar a los estudiantes una visión hacia la industria, que tengan la experiencia, y la capacidad de optar con bases sólidas hacia la solución de un determinado problema, tomando decisiones acertadas, basadas en el estudio de problema y la experiencia. Creemos que con este trabajo estamos actuando en pro de esta visión. Además se busca plantear alternativas dentro de la universidad para aquellos que buscan alguna oportunidad en la industria.

En conclusión se vio la necesidad y se optó por resolverla, aprovechando la experiencia obtenida hasta este momento en las diferentes asignaturas de la carrera y la capacidad que se tiene de plantear soluciones a los problemas que se presentan. Además se cuenta con el apoyo de la universidad para llevarlo a cabo. Una de las cosas más importantes de este proyecto y vale la pena aclarar, que se va a trabajar realmente con sensores industriales, los cuales al ser más costosos serían de difícil acceso para algún estudiante.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivo general.**

Construir un módulo didáctico para la asignatura Instrumentación Electrónica en la temática de sensores de proximidad. Este módulo didáctico permitirá analizar el comportamiento de diferentes sensores, para determinar sus características y crear una herramienta para ser usada como práctica en el laboratorio.

#### **3.2 Objetivos específicos.**

Para el cumplimiento del objetivo general del proyecto se requiere lo siguiente:

- Desarrollar un documento descriptivo sobre los principios de funcionamiento de los sensores de proximidad más utilizados en la industria, características y la forma de utilización.
- Realizar un módulo consistente en una estructura física con los sensores seleccionados y dispositivos de visualización e identificación del estado de los sensores.
- Crear un manual de prácticas de laboratorio como referencia para la utilización adecuada del módulo didáctico y desarrollo de experimentos para estudio de la Asignatura Instrumentación Electrónica en la Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones.

### **3.3 Alcance.**

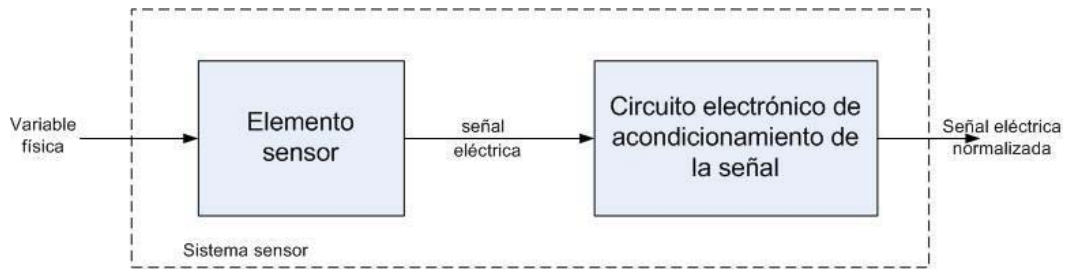
En este proyecto se analizarán y clasificarán diferentes tipos de sensores de proximidad según sus características. Estos sensores serán implementados en un módulo con el cual se podrá analizar su respectivo comportamiento y junto con este se entregaran una serie de guías con las cuales el usuario podrá examinar de manera más clara cada sensor, esto ayudara a afianzar conceptos de la asignatura Instrumentación Electrónica.

#### **4. DEFINICIÓN, CLASIFICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LOS SENSORES**

Cuando se requiere medir constantemente algún tipo de comportamiento dentro de un sistema, es necesario contar con un dispositivo que detecte ese fenómeno y lo transmita de tal manera que otro sistema lo pueda entender y realizar alguna acción correspondiente. Se pueden medir diferentes variables, como por ejemplo el flujo, la presión, la luminiscencia, y muchos otros mas, aunque para el presente trabajo, se abordarán tan solo los sensores que detectan presencia y proximidad, sin embargo gran parte del presente trabajo, podría extrapolarse a otro tipo de sensores.

De lo anterior se puede deducir que un sensor es un elemento que detecta cierta variable física, y la transforma; es por esto que algunos autores le suele denominar al sensor también como transductor, y por lo primero también detector. Al igual que los sentidos humanos, que permiten tomar decisiones, al enviar las sensaciones que perciben y transmiten eléctricamente hacia el cerebro, el sensor envía señales al sistema de control y este produce una reacción propia a esta señal. Los sensores cuentan con una etapa de detección, es decir una etapa que es sensible a una cierta variable física, también cuenta con una etapa de adecuación de señal, la cual hace que la señal eléctrica resultante de la medición sea coherente, y pueda ser transmitida. La adecuación de la señal puede realizarse según criterios del fabricante, o basado en organismos de normalización, por ejemplo la IEC (International Electrotechnical Commission). De manera general la estructura de un sensor es de la siguiente forma:

**Figura. 1** Componentes básicos de un sensor.



Tomada de [8] Pág. 464.

Existen sensores que pueden funcionar sin necesidad de energizar una fuente externa, a estos dispositivos se les conoce como sensores activos o generadores (self generating), un ejemplo de estos dispositivos son los que trabajan bajo el efecto piezoeléctrico, los cuales al recibir presión generan una tensión proporcional a esta presión. A los sensores que necesitan una fuente de alimentación externa se les denomina sensores pasivos o moduladores (Modulating).

Existen diversas formas de clasificar un sensor por ejemplo según el tipo de señal eléctrica que generan (sensores analógicos, digitales y temporales), otra clasificación de los sensores es según el rango de valores de la señal que proporcionan, los sensores pueden ser de medida o todo-nada (en inglés, "On-Off") [8] pág. 466.

#### **4.1 Sensores de medida.**

Los sensores para medición de distancia o en general los de medida pueden detectar la presencia de objetos dentro de un determinado rango entregando a su salida un valor correspondiente a la posición del objeto a detectar. El formato de la salida puede ser analógico, digital o temporal. Un ejemplo de sensor de medida puede ser un sensor de distancia en el que el movimiento de un objeto afecte una

resistencia interna lo cual ocasiona que varíe la tensión entre sus terminales. [8] Pág. 473.

## **4.2 Sensores todo- nada.**

Solo detectan cuando la magnitud de entrada está por encima o por debajo de cierto valor. Este tipo de sensores cuenta entonces a su salida con solo dos estados encendido o apagado, uno o cero, alto o bajo, abierto o cerrado, según como se quiera denominar cada uno de sus dos estados. Un ejemplo de un sensor todo o nada son los finales de carrera, en los cuales el contacto del objeto ocasiona una conmutación a la salida o un cambio de estado.

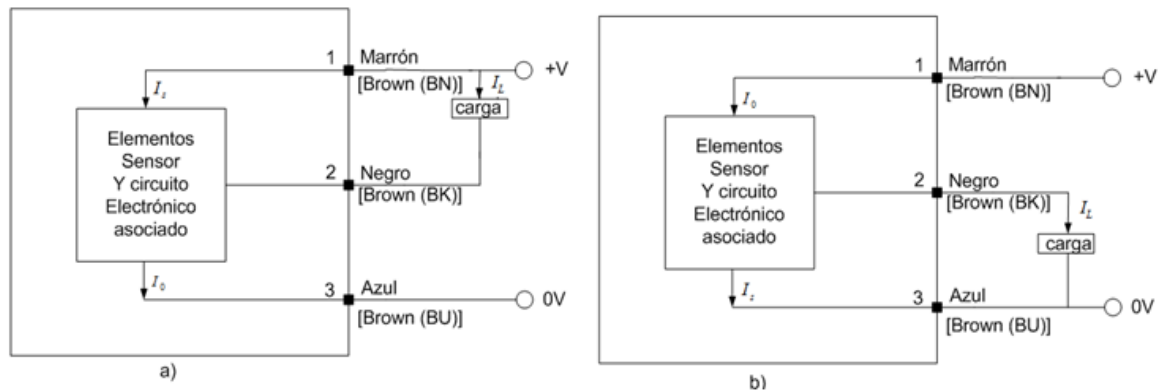
Los sensores todo-nada poseen configuraciones de salida que se presentan a continuación: [8] Pág. 494.

### **4.2.1 Salida a tres hilos.**

Cuenta con tres terminales de salida (1,2,3) (Figura 2) a través de dos de los hilos se conecta la alimentación del sistema (1 y 3), y la carga se conecta entre el terminal de salida (2) y el común (1), de tal modo que la corriente  $I_L$  que va hacia la carga tiene un valor apreciable cuando esta activo y un valor nulo de lo contrario. Según el tipo de dispositivo a la salida, se pueden encontrar las configuraciones de salida mostradas en la figura 4. El primer caso se puede realizar con un sensor bipolar NPN tal como se indica en las Figuras 3a y b y el segundo con un transistor bipolar PNP (Figura 4a y b). La resistencia R en las configuraciones de salida de las figuras 3a y 4a garantiza una corriente mínima a través del transistor de salida. El circuito de protección se compone del diodo D el cual protege al sensor contra la inversión de la polaridad de la tensión de

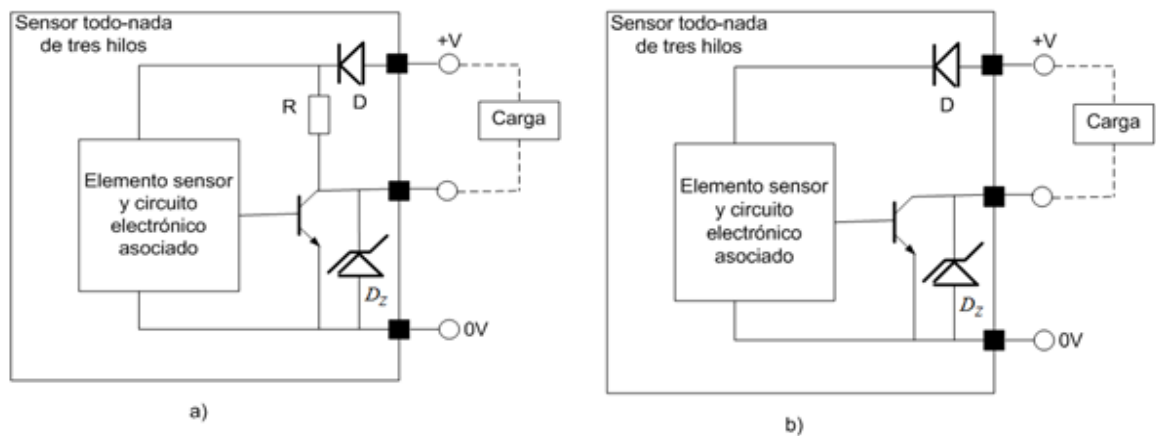
alimentación y el diodo zener  $D_z$  que impide que la tensión de salida se eleve por encima del valor de la tensión de zener del mismo.

**Figura. 2** Sensores todo-nada de tres hilos: a) Carga conectada al positivo de la fuente de alimentación; b) Carga conectada al negativo de la fuente de alimentación.



Tomada de [8] Pág. 484.

**Figura. 3** Sensores todo-nada de tres hilos cuya salida está realizada con transistores NPN: a) Con resistencia de carga; b) Sin resistencia de carga.

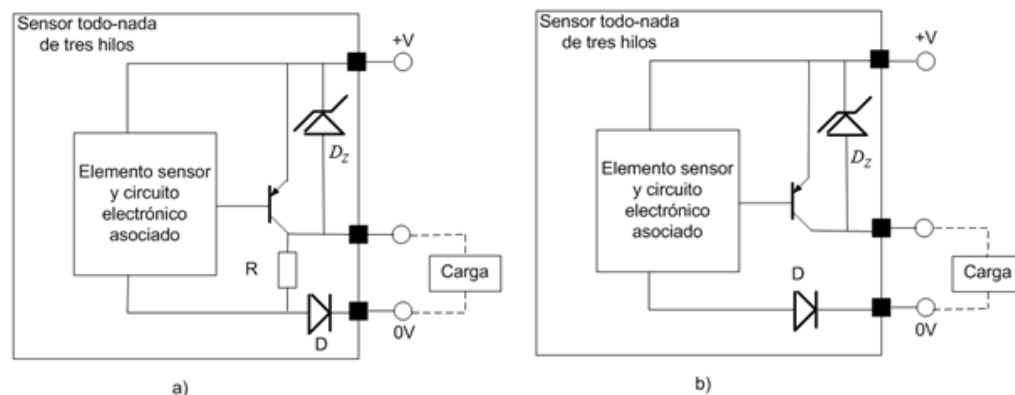


Tomada de [8] Pág. 485.

Los cuatro sensores de las figuras 2 y 3 se pueden diseñar para funcionar igual que un contacto normalmente abierto "NO" (*Normally Open*), o igual que un contacto normalmente cerrados "NC" (*Normally close*) en el primer caso cuando el dispositivo está inactivo la corriente no circula por la carga, y en el segundo caso si lo hace.

En los sensores de tres hilos la corriente que circula por la fuente  $I_S$ , no es la misma que circula, por la carga, y el consumo total de corriente del sensor esta dado por la suma de la corriente  $I_S$  e  $I_L$ , esta característica hace que la salida de este sensor se pueda conectar directamente a la entrada de sistemas digitales. [8] Pág. 484.

**Figura. 4** Sensores todo-nada de tres hilos cuya salida está realizada con transistores PNP: a) Con resistencia de carga; b) Sin resistencia de carga.



Tomada de [8] Pág. 486.

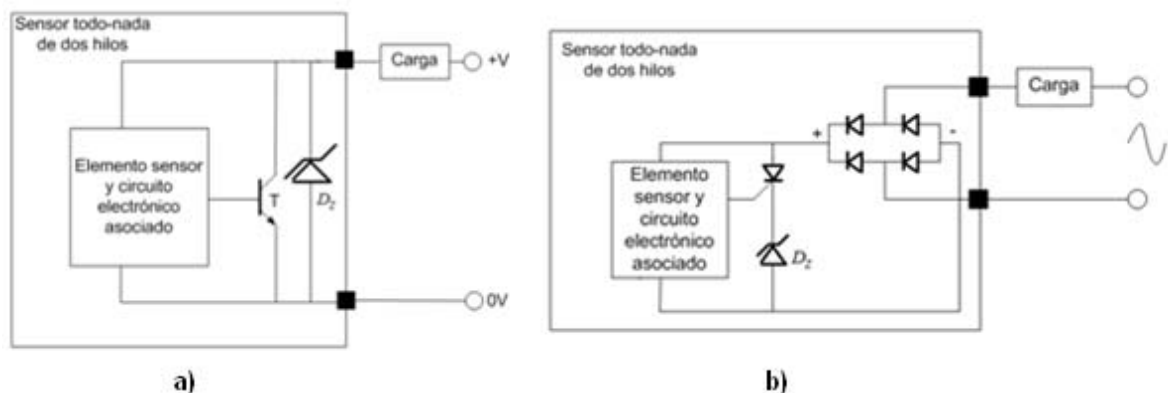
#### 4.2.2 Sensores de dos hilos.

Como su nombre lo indica poseen solo dos terminales, por la terminal que se conecta a la carga, se conecta también la fuente de alimentación, por lo tanto la

corriente de la fuente de alimentación circula siempre por la carga, lo cual es uno de los problemas de este tipo de configuración ya que sin estar activo el sensor esta corriente de alimentación en la salida puede ser suficiente para activar cargas que requieran de poca corriente a la entrada como en el caso de autómatas programables, aunque se pueden conectar a relés ya que estos si requieren de corrientes más altas para activarse. [8] Pág. 488.

"Los sensores de dos hilos pueden emplearse para ser alimentados en continua o en alterna. En la Figura 5a se presenta el circuito típico de salida de un sensor de dos hilos alimentado en continua en el que el transistor T no alcanza la saturación cuando se activa. De esta forma la tensión entre su colector y su emisor mantiene alimentado el sensor. En la Figura 5b se representa el circuito de salida de un sensor de dos hilos que se alimenta en alterna a través de un puente rectificador. El tiristor constituye el elemento conmutador accionado por el sensor, mientras que el diodo zener Dz mantiene la tensión de alimentación del sensor en el nivel adecuado para su funcionamiento cuando conduce el tiristor. " [8] Pág. 488.

**Figura. 5** Sensores todo-nada de dos hilos: a) Alimentación en continua; b) Alimentación en alterna.



Tomada de [8] Pág. 489.

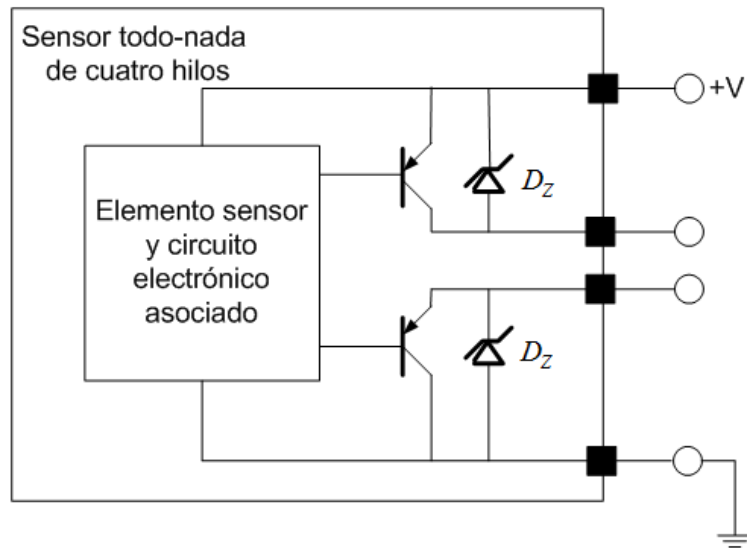
#### **4.2.3 Sensores de cuatro hilos.**

Posee dos hilos de salida los cuales se pueden configurar para trabajar como contacto normalmente abierto ó contacto normalmente cerrado, de la misma forma que con los sensores con salida a 3 hilos. En la figura 6 se observan estas configuraciones NC y NO con transistores PNP y NPN en diferentes dispositivos, y en la figura 7 con transistores PNP y NPN, en el mismo dispositivo. [8] Pág. 488.

#### **4.2.4 Sensores con salida de tipo relé.**

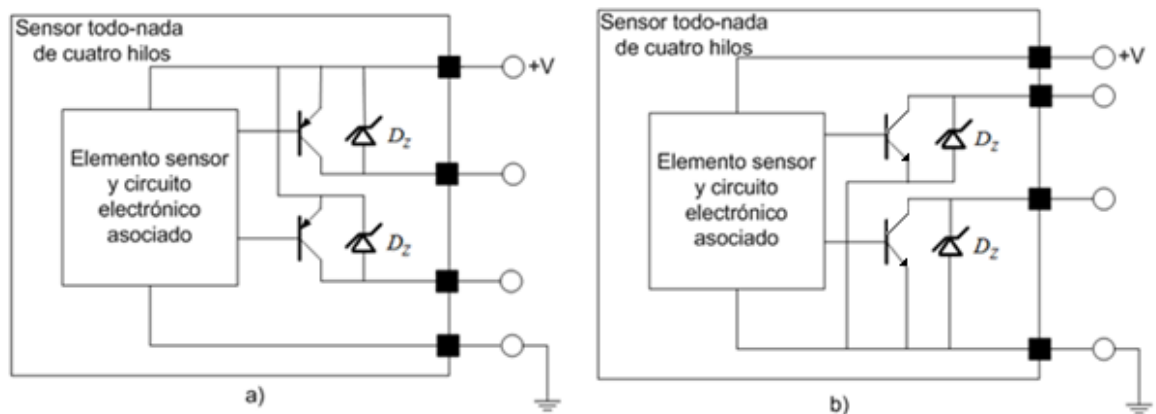
Una salida tipo relé son contactos libres de potencial que pueden estar en posición NO, o NC, cuando el sensor está inactivo, y cambia de posición cuando se activa. Si se presenta solo una de las dos combinaciones se conoce como SPST (*Single Pole Single Through*) y se les agrega las siglas NA o NC, dependiendo del estado de los terminales cuando el sensor está inactivo. Si la conmutación causa conexión a un punto y desconexión de otro, se denomina SPDT (*Single Pole Double Through*). Si la conmutación se presenta al mismo tiempo es en dos terminales se le conoce como DPST (*Double Pole Single Through*) y se les adiciona las siglas NA o NC, dependiendo del estado, igual que en el caso anterior. En el caso en que la conmutación desconecte y conecte la carga a puntos distintos simultáneamente se conoce como DPDT (*Double Pole Double Through*), en la figura 8 se pueden observar las configuraciones descritas. [8] Pág. 492.

**Figura. 6** Sensor todo-nada de cuatro hilos que posee una salida realizada con un transistor PNP y otra con un transistor NPN.



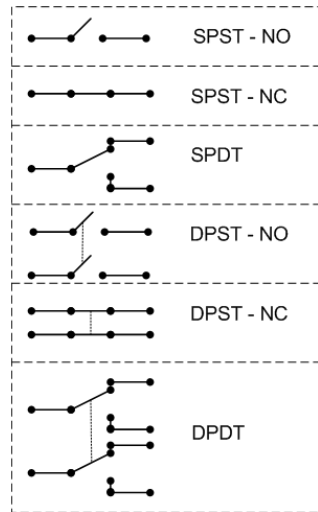
Tomada de [8] Pág. 491.

**Figura. 7** Sensores todo-nada de cuatro hilos: a) Realizado con transistores PNP; b) Realizado con transistores NPN.



Tomada de [8] Pág. 490.

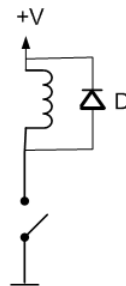
**Figura. 8** Diferentes tipos de contactos de un relé.



Tomada de [8] Página 492.

Otra característica importante de este tipo de sensores es que permite la conexión de carga tanto en alterna como en continua. Si la carga es inductiva es necesario proteger el contacto mediante una red RC o un diodo libre de circulación, como se muestra en la Figura 9. Si la carga es una lámpara de filamento se debe tener en cuenta la máxima corriente que la atraviesa cuando el filamento está frío.

**Figura. 9** Circuito de protección está constituido por un diodo D en paralelo con la carga.



Tomada de [8] Pág. 340.

### 4.3 Efectos ambientales.

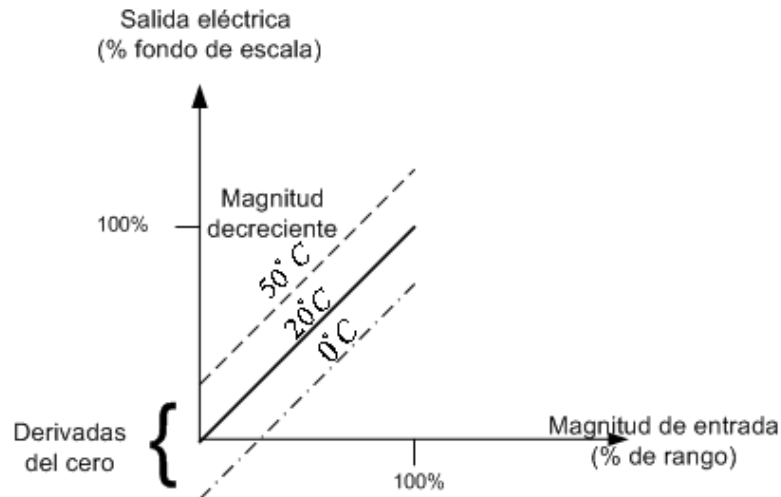
Existen efectos del entorno que pueden causar que el elemento de medición se comporte de manera diferente a la de su correcto funcionamiento, estos efectos se pueden calcular e incluso algunos dispositivos ya traen incorporado diferentes maneras para compensar estos efectos dentro de ciertos rangos.

**Efectos térmicos:** Existen temperaturas que pueden causar mal funcionamiento o incluso daños en el dispositivo, por lo tanto se debe garantizar que el sensor trabaje dentro del rango de temperaturas establecido por el fabricante.

En algunos sensores los efectos de la temperatura se especifican solamente como deriva térmica del cero y deriva térmica de la sensibilidad, que ocasionan, respectivamente, un desplazamiento paralelo y un cambio en la pendiente de la curva de calibración.

La deriva térmica del cero se puede explicar de la manera siguiente, un sensor cuya magnitud de entrada es cero su salida deberá ser cero, o el valor que represente esta salida, por ejemplo en sensores con salida de voltaje entre 1 y 5 V debería ser de 1V, siempre que se mantenga la misma temperatura. Por lo tanto la variación de la salida con respecto a una variación de temperatura entre un rango del sensor sin carga se conoce como deriva térmica y puede observarse en la grafica 10. [8] Pág. 503.

**Figura. 10** Determinación de las derivas térmicas del cero y del fondo de escala de un sensor.



Tomada de [8] Página 505.

**Efectos de la aceleración y las vibraciones:** Estos efectos se presentan cuando el sensor está sometido a efectos de aceleración frecuente o entornos con vibraciones, por lo tanto es necesario conocer las consecuencias en el funcionamiento de un dispositivo sometido a un ambiente de este tipo para calcular el máximo error de aceleración, el cual es la diferencia máxima entre los valores de la salida obtenidos cuando el sensor está sometido a un rango de aceleraciones y en condiciones sin aceleración.

**Efecto de la presión ambiental:** Igual que en los casos anteriores existe una variación máxima de la salida cuando el sensor está sometido a diferentes cambios de presión.

**Efectos de las perturbaciones eléctricas:** Las variaciones en la red eléctrica pueden causar perturbaciones superpuestas en la salida del dispositivo. Ejemplos

de este tipo de perturbaciones se presentan por causa del ruido eléctrico, transitorios de conmutación, ondas de radio, entre otros.

#### **4.4 Grado de protección ambiental de los sensores industriales.**

Para que el sensor opere bajo ciertos entornos industriales en donde se presentan factores como humedad, polvo, u otro factor que pudiera deteriorar o dañar el dispositivo, es necesario que cumpla con ciertas normas establecidas entidades internacionales. Entre ellas se destaca la Comisión Electrotécnica Internacional o en inglés International Electrotechnical Commission (IEC), perteneciente a la ISO (Organización Internacional de Normalización), que tiene la responsabilidad principal de establecer normas electrotécnicas, debido a lo cual muchas de las normas desarrolladas por ella tienen su equivalente en otras organizaciones, como por ejemplo, DIN, CENELEC, y UNE. Las normas que se especifican para la protección del sensor no pueden ser usadas para garantizar la seguridad en áreas explosivas.

"El grado de protección ambiental o sellado se simboliza mediante las siglas IP (*Ingress Protection*) seguidas de dos cifras. La primera cifra indica el grado de protección frente al contacto y entrada de cuerpos sólidos externos y la segunda cifra el grado de protección frente a líquidos. Cuanto más alto es el número de la primera y la segunda cifra, mayor es el grado de protección del sensor. Por ejemplo un grado de protección ambiental o de sellado IP55 encierra a todos los grados inferiores, tales como IP22, IP23, IP54, por citar algunos de los más utilizados". [8] Pág. 503.

**Tabla 1.** Significado de las cifras del grado de protección ambiental de acuerdo con la norma IEC 60529.

| 1ª cifra | Grado de protección  | 2ª cifra | Grado de protección  |
|----------|--|----------|--|
| 0        | El equipo no está protegido contra la entrada de cuerpos sólidos externos.   | 0        | Sin protección.  |
| 1        | Protección contra la entrada de cuerpo sólidos externos grandes (mayores de 50 mm de diámetro).  | 1        | Protección contra la condensación de gotas de agua.  |
| 2        | Protección contra la entrada de cuerpos sólidos externos de tamaño medio (mayores de 12 mm de diámetro).   | 2        | Protección contra gotas de líquido; la caída de gotas de líquido no tiene efectos perjudiciales si la carcasa tiene una inclinación de hasta 15° desde la vertical.                        |
| 3        | Protección contra la entrada de cuerpos sólidos externos mayores de 2.5 mm de diámetro.  | 3        | Protección contra lluvia o agua en forma de lluvia, para un ángulo menor o igual a 60° con respecto a la vertical.   |
| 4        | Protección contra la entrada de cuerpos sólidos externos pequeños (mayores de 1 mm de diámetro).   | 4        | Protección contra salpicaduras de líquido en cualquier dirección   |
| 5        | Protección contra depósitos perjudiciales de polvo. La entrada de polvo no se evita totalmente, pero este no puede entrar en cantidades suficientes para interferir el adecuado funcionamiento del equipo. | 5        | Protección contra chorros de agua. El agua no produce efectos perjudiciales cuando es proyectada por un inyector en cualquier dirección bajo condiciones especificadas.                    |
| 6        | Protección contra la entrada de polvo. Protección total frente al contacto con partes móviles situadas dentro de la carcasa.   | 6        | Protección contra condiciones de tipo la cubierta de barco (equipos herméticos de cubierta). El agua procedente de un fuerte oleaje no entra en la carcasa bajo condiciones especificadas. |
| 7        |  | 7        | Protección contra la inmersión de agua bajo condiciones especificadas de presión y tiempo  |
| 8        |  | 8        | Protección contra la inmersión indefinida en agua bajo condiciones específicas de presión.   |

Tomada de [8] Página 497.

En la Tabla 1 se indica el tipo de protección que corresponde a los distintos valores de cada una de las cifras. Si no se especifica al momento del montaje del sensor industrial se asume que su grado de protección es IP65.

#### 4.5 Forma de variación de la magnitud de entrada.

Al igual que los ojos y el oído humano que tan solo pueden percibir sensaciones en determinados rangos de frecuencia, puede haber sensores que solo detecten variaciones lentas o variaciones rápidas en la magnitud de entrada. La importancia de este parámetro radica en que se pueden representar errores si la entrada al sensor esta por fuera de los márgenes de velocidad aceptados por el sensor, o cualquier límite impuesto en su funcionamiento.

De acuerdo al modo de variación en función del tiempo estos datos se pueden clasificar en datos estáticos, dinámicos, transitorios y aleatorios.

**Datos estáticos:** Estos datos no presentan variaciones rápidas o discontinuidades, son obtenidos de entradas cuya magnitud en general presenta variaciones con armónicos de bajas frecuencias.

**Datos dinámicos:** Datos que son casi siempre periódicos obtenidos durante el funcionamiento de sistemas estables y continuos (por ejemplo, elementos mecánicos en movimiento alternativo).

**Datos transitorios:** Son datos producidos por variaciones bruscas que obedecen a perturbaciones o cambios en la magnitud entrada en un determinado punto que contienen la información principal del comportamiento del sistema.

**Datos aleatorios:** Los datos que se presentan de esta forma no son previsibles y deben ser analizados mediante técnicas estadísticas y mediante funciones de probabilidad. Estas variaciones se pueden presentar tanto en amplitud como en frecuencia [8] Pág. 479.

#### 4.6 Características eléctricas del sensor.

**Tensión de alimentación:** La tensión de alimentación puede ser continua o alterna, aunque generalmente es continua. Los sensores industriales operan usualmente entre los siguientes rangos de voltaje.

- 10-30V CC
- 20-130V CA
- 90-250V CA
- 20-250V CA/CC

Cuando la tensión de alimentación es continua se debe conocer el máximo rizado u ondulación admisible en ella. Aquellos sensores que funcionan con corriente alterna se pueden conectar directamente a la línea eléctrica o desde una fuente filtrada, esto evita la necesidad de una fuente de alimentación independiente. [8] Pág. 479.

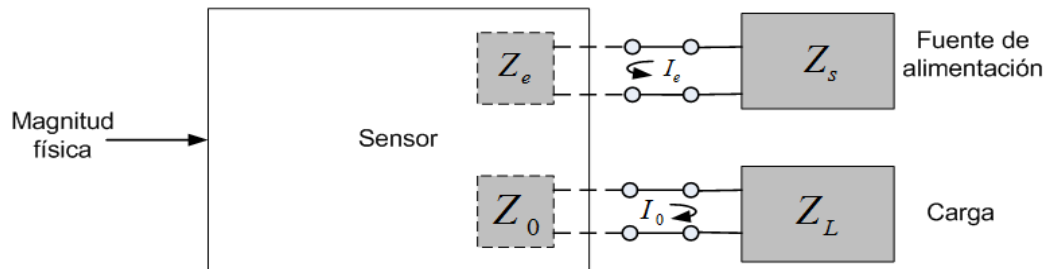
**Ondulación residual:** Cuando el sensor se alimenta en continua puede soportar ciertas variaciones en el valor de la tensión, estas variaciones son admisibles, hasta cierto valor, la máxima ondulación permitida para sensores industriales es del 10%.

**Consumo de corriente en vacío:** Se denomina así al máximo valor de corriente que el sensor demanda cuando se encuentra sin carga. Este valor es especificado generalmente por el fabricante en las hojas de datos del dispositivo.

**Impedancia de la fuente ( $Z_s$ ):** Es la impedancia que el sensor ve en los terminales de conexión a la fuente de alimentación, esta impedancia generalmente incluye la impedancia de los conectores de la fuente. Ahora, a la impedancia que

ve la fuente de alimentación en las terminales del sensor se le denomina impedancia de entrada ( **$Z_e$** ).

**Figura. 11** Esquema de conexión entre un sensor analógico pasivo, la fuente de alimentación y la carga.



Tomada de [8] Pág. 495.

En la Figura 11 se presenta la conexión de un sensor analógico pasivo a su fuente de alimentación y a la carga.

Para evitar interferencias de tipo electromagnético o electrostático se usan cables blindados, esto evita más que todo interferencias cuando los conectores tienen longitudes considerables o los niveles de tensión que se manejan son bajos.

**Protección:** Se requieren elementos de protección para sensores que trabajen tanto en corriente continua como en alterna, la protección sin embargo estos circuitos de protección no son lo suficientemente rápidos para proteger al sensor en casos de cortocircuito/sobrecarga e inversión de polaridad, sin embargo se recomiendan fuentes filtradas e independientes y que la línea este protegida con el fusible adecuado.

Si se tiene certeza o se quiere prevenir fenómenos como cortocircuito/sobrecarga o inversión de polaridad, existen sensores que traen incorporadas protecciones contra estos fenómenos.

**Flujo de corriente:** Consumo eléctrico típico para cada tipo de sensor de proximidad:

- Fotoeléctrico 35 mA
- Ultrasónico 70 mA
- Inductivo 15 mA
- Capacitivo 15 mA[Referencia fundamentos de sensado]

**Corriente residual:** Se define como la corriente que circula a través de la carga cuando el sensor esta desactivado (el transistor de salida no conduce).

**Tensión residual:** Es el valor máximo de la tensión que puede haber en la salida del sensor cuando se encuentra activado (el transistor de salida conduce).

**Corriente de carga:** Es la corriente mínima que debe suministrar el sensor para garantizar el funcionamiento o la activación de cierta carga conectada a su salida, un ejemplo podría ser una carga tipo relé, la cual necesita de cierta corriente para conmutar.

**Consumo del sensor:** Se debe conocer el valor de corriente necesario para que el sensor pueda operar, en algunos casos el fabricante suele especificar la potencia en vatios o voltamperios, cuando opera en continua o en alterna respectivamente.

#### 4.7 Características de aislamiento.

Cuando dos o más partes de un sensor industrial están aisladas eléctricamente es a veces importante conocer el grado de aislamiento entre ellas. Los parámetros que proporcionan dicha información suelen ser la resistencia de aislamiento y la tensión de ruptura o rigidez dieléctrica, estos conceptos están muy relacionados entre sí.

La *resistencia de aislamiento* es la resistencia entre dos partes medida mediante la aplicación de una tensión continua de un determinado valor. La *tensión de ruptura o rigidez dieléctrica* se puede definir como la máxima tensión que se puede aplicar entre las partes aisladas sin que se produzca un arco eléctrico y sin que la corriente que circula entre ambas supere un valor determinado.

## 5. SENSORES CAPACITIVOS

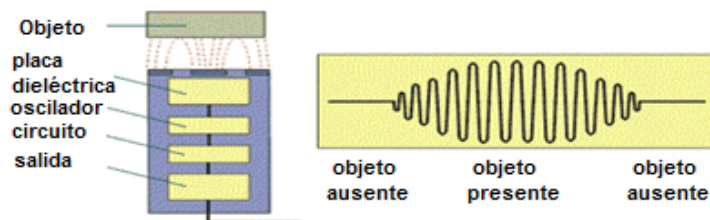
Los sensores capacitivos permiten detectar objetos metálicos y no metálicos, sólidos y líquidos, si bien son más apropiados para detectar objetos no metálicos debido a sus características y costo en comparación con los sensores de proximidad inductivos. En la mayoría de las aplicaciones con objetos metálicos es preferible usar sensores inductivos por su confiabilidad y asequibilidad.

### Componentes básicos

El sensor consta de cuatro componentes básicos:

- Sonda o placa capacitiva
- Oscilador
- Detector del nivel de señal
- Dispositivo interruptor de salida de estado sólido
- Potenciómetro de ajuste

**Figura. 12** Operación del sensor de proximidad capacitivo.



Tomada de:

[Citado 10 de mayo de 2010; 8:35].

<http://www3.sea.siemens.com/step/templates/lesson.mason?sensors:4:2:1>

**Sonda o placa capacitiva:** La sonda capacitiva irradia un campo electrostático que genera un acoplamiento capacitivo entre la sonda y el objeto que entra en el campo.

**Oscilador:** El oscilador suministra energía eléctrica a la sonda o placa capacitiva.

**Circuito de disparo:** El circuito de disparo detecta cambios en la amplitud de la oscilación. Los cambios ocurren cuando un objeto entra o sale del campo electrostático irradiado desde el sensor.

**Dispositivo interruptor de salida de estado sólido:** Una vez detectado un cambio suficiente en el campo electrostático, la salida de estado sólido genera una señal eléctrica que la debe interpretar un dispositivo de interface tal como un controlador lógico programable (PLC). Esta señal indica la presencia de un objeto en el campo de detección.

**Potenciómetro de ajuste:** Se puede variar la sensibilidad del sensor girando el potenciómetro. Si se gira hacia la derecha (sentido horario) aumenta la sensibilidad si se aumenta en sentido contrario la disminuye.

## 5.1 Principio de funcionamiento.

Cuando se enciende el sensor capacitivo se genera un campo electrostático debido a la inducción de cargas que se encuentra detrás de la cara del sensor, este campo electrostático se ve afectado por la presencia de un objeto con determinada constante dieléctrica, ya que este afecta la capacitancia inicial del sistema. Cuando no hay objeto en el campo electrostático, el oscilador permanece inactivo.

Cuando la nueva capacitancia del sistema debida al objeto detectado alcanza cierto límite se dispara internamente un circuito que activa la salida del sensor. En la figura 12 se observa lo que ocurre en la señal cuando el elemento a detectar entra en contacto con el campo de acción del sensor.

El valor de la constante dieléctrica y el tamaño del objeto afectan de manera proporcional la capacitancia del sistema. Existe también una distancia límite para la detección. Mientras más grande la constante dieléctrica y el objeto más fácil su detección. [1] Pág. 5-1.

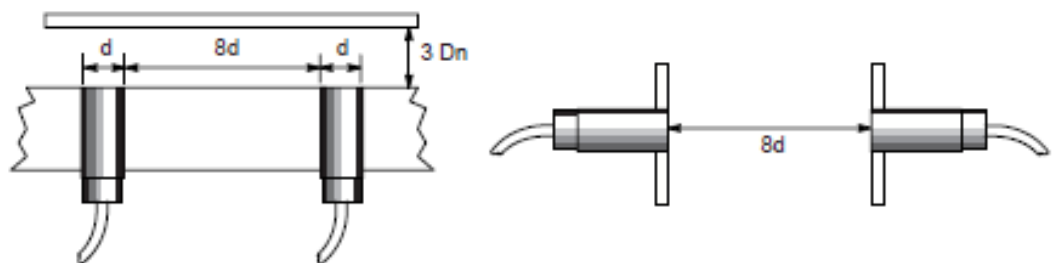
## 5.2 Diseño blindado o diseño no blindado.

Los sensores capacitivos pueden ser de diseño blindado o no blindado.

### 5.2.1 Sonda blindada.

El campo electrostático de un sensor capacitivo blindado es más concentrado por lo que pueden detectar materiales con constantes electrostáticas bajas o más difíciles de detectar.

**Figura. 13** Sensores blindados rasantes.



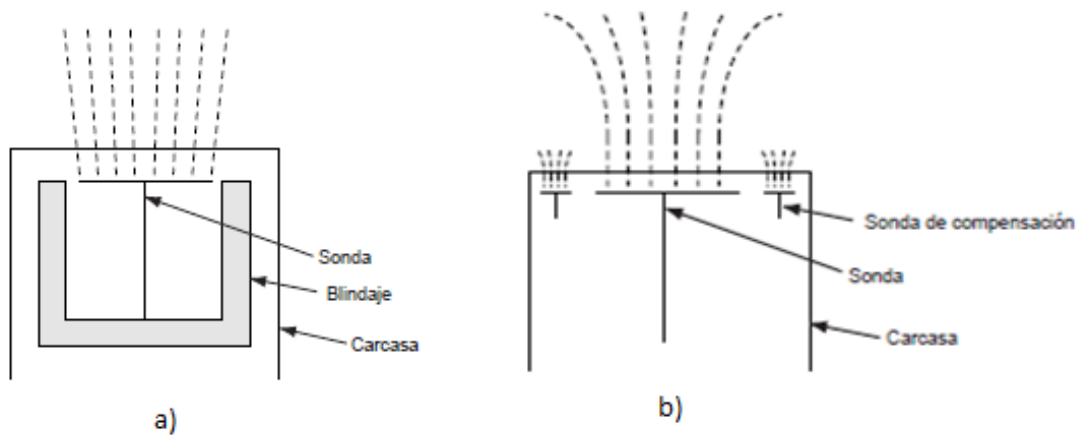
Tomada de [1] Pág. 5-3.

Poseen una banda metálica alrededor de la sonda que genera el campo electrostático, lo que les ayuda a dirigir dicho campo.

### 5.2.2 Sonda no blindada.

La diferencia entre este sensor y el anterior es que no posee la banda metálica alrededor de la sonda, por lo tanto el campo electrostático es menos concentrado, lo cual causa que no puedan detectar materiales con bajas constantes dieléctricas. En algunos casos cuentan con sondas de compensación para aumentar la estabilidad, la cual les permite ignorar el polvo, vaho y la humedad. Son más adecuados en aplicaciones de detección de nivel de líquidos y son construidos en plástico.

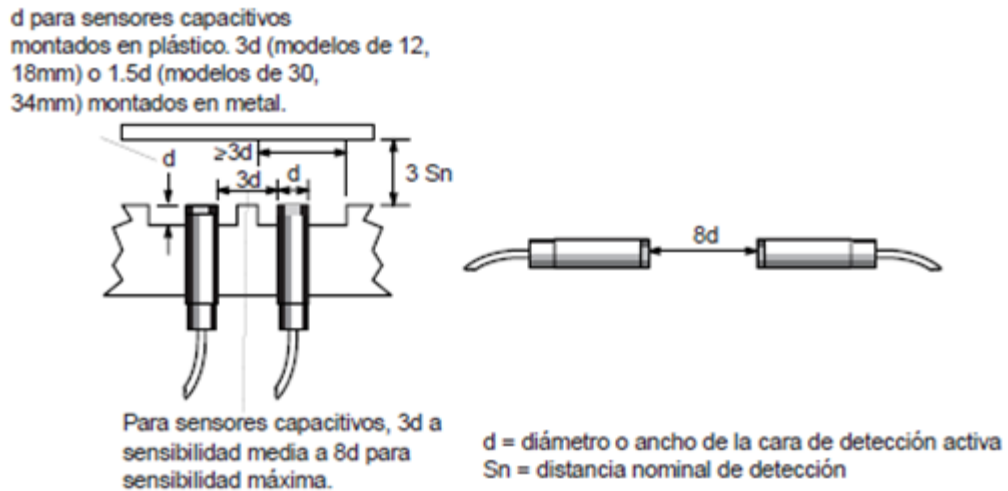
**Figura. 14** a) Sonda blindada b) no blindada.



Tomada de [1] Pág. 5-2 y 5-4.

Los modelos no blindados se utilizan para diferenciar materiales con altas constantes dieléctricas y bajas constantes dieléctricas.

**Figura. 15** Diseño no blindado montado sobre metal.



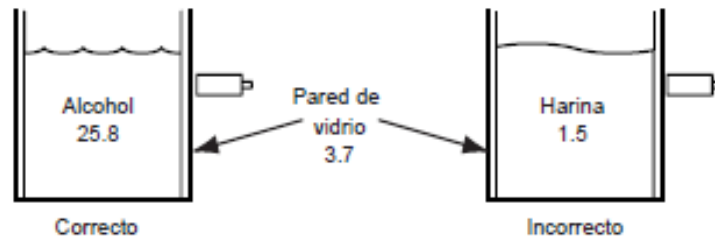
Tomada de [1] Pág. 5-4.

### 5.3 Consideraciones relativas al objeto.

Los materiales a detectar por un sensor capacitivo puede ser metálicos, no metálicos, sólidos y líquidos, siendo los más apropiados los no metálicos, sin embargo como se dijo antes existen también características del material como su constante dieléctrica, la forma y las dimensiones que presente, las cuales hacen que la distancia de detección varíe, o que exista o no exista detección.

**Constantes dieléctricas:** Los materiales con constantes dieléctricas altas pueden detectarse a través de las paredes de contenedores fabricados con materiales con constantes dieléctricas más bajas. Un ejemplo es la detección de alcohol o harina a través de una pared de vidrio. El alcohol se podría detectar a través del vidrio, mientras que la harina no.

**Figura. 16** Detección capacitiva a través de un depósito.



Tomada de [1] Pág.5-6.

Es necesario probar cada aplicación. La lista de constantes dieléctricas le permitirá determinar la viabilidad de una aplicación. Los valores indicados variarán dependiendo del tamaño y la densidad del objeto en cuestión. A continuación se presenta una lista parcial de las constantes dieléctricas de algunos materiales industriales típicos.

**Tabla 2** Constantes dieléctricas de materiales industriales comunes.

| Material                | Constante (F/m) | Material                       | Constante (F/m) |
|-------------------------|-----------------|--------------------------------|-----------------|
| Acetona                 | 19.5            | Perspex                        | 3.2 - 3.5       |
| Resina acrílica         | 2.7- 4.5        | Petróleo                       | 2.0 - 2.2       |
| Aire                    | 1.000264        | Resina fenólica                | 4 - 12          |
| Alcohol                 | 25.8            | Poliacetil                     | 3.6 - 3.7       |
| Amoníaco                | 15 - 25         | Poliamida                      | 5.0             |
| Anilina                 | 6.9             | Resina de poliéster            | 2.8 - 8.1       |
| Soluciones acuosas      | 50 - 80         | Polietileno                    | 2.3             |
| Baquelita               | 3.6             | Polipropileno                  | 2.0 - 2.3       |
| Benceno                 | 2.3             | Poliestireno                   | 3.0             |
| Dióxido de carbono      | 1.000985        | Resina de cloruro Polivinílico | 2.8 - 3.1       |
| Tetracloruro de carbono | 2.2             | Porcelana                      | 4.4 - 7         |
| Celuloides              | 3.0             | Leche en polvo                 | 3.5 - 4         |
| Polvo de cemento        | 4.0             | Cartón prensado                | 2 - 5           |
| Cereales                | 3 - 5           | Cristal de cuarzo              | 3.7             |
| Cloro líquido           | 2.0             | Caucho                         | 2.5 - 35        |
| Ebonita                 | 2.7 - 2.9       | Sal                            | 6.0             |
| Resina epóxida          | 2.5 - 6         | Arena                          | 3 - 5           |
| Etanol                  | 24              | Shellac (Barniz de laca)       | 2.5 - 4.7       |

|                           |            |                             |           |
|---------------------------|------------|-----------------------------|-----------|
| Etilenglicol              | 38.7       | Limo Shell                  | 1.2       |
| Ceniza                    | 1.5 - 1.7  | Barniz de silicona          | 2.8 - 3.3 |
| Harina                    | 1.5 - 1.7  | Aceite de soja              | 2.9 - 3.5 |
| Freón R22 y 502 (líquido) | 6.11       | Acero                       |           |
| Gasolina                  | 2.2        | Resina de estireno          | 2.3 - 3.4 |
| Vidrio                    | 3.7 - 10   | Azúcar                      | 3.0       |
| Glicerina                 | 47         | Azufre                      | 3.4       |
| Mármol                    | 8.0 - 8.5  | Teflón                      | 2.0       |
| Resina melamínica         | 4.7 - 10.2 | Tolueno                     | 2.3       |
| Metal                     |            | Aceite para transformadores | 2.2       |
| Mica                      | 5.7 - 6.7  | Aceite de trementina        | 2.2       |
| Nitrobencina              | 36         | Resina de urea              | 5 - 8     |
| Naylon                    | 4 - 5      | Vaselina                    | 2.2 - 2.9 |
| Papel oleosaturado        | 4.0        | Agua                        | 80        |
| Parafina                  | 1.9 - 2.5  | Madera seca                 | 2 - 7     |
| Papel                     | 1.6 - 2.6  | Madera húmeda               | 10 - 30   |

Tomada de [1] Pág. 5-6

#### **5.4 Ventajas y desventajas de los sensores de proximidad capacitivos.**

##### **5.4.1 Ventajas.**

Las ventajas de los sensores de proximidad capacitivos son:

1. Detectan objetos metálicos y no metálicos, así como líquidos y sólidos.
2. Pueden “ver a través” de ciertos materiales (cajas de productos).
3. Son de estado sólido y tienen una larga vida útil.
4. Disponen de muchas configuraciones de montaje. [1] Pág. 5-8.

##### **5.4.2 Desventajas.**

Las desventajas de los sensores de proximidad capacitivos son:

1. Distancia de detección corta (1 pulgada o menos) que varía en función del material detectado.
2. Son muy sensibles a factores ambientales: la humedad en climas costeros o lluviosos puede afectar el resultado de la detección.

3. No son selectivos con respecto al objeto detectado: es esencial controlar qué es lo que se aproxima al sensor. [1] Pág. 5-8.

## 5.5 Aplicaciones del sensor capacitivo.

### Aplicaciones típicas

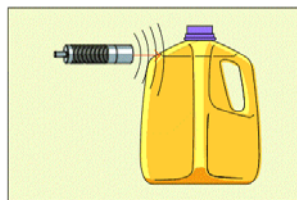
#### 1. Detección del nivel de líquido.

- Detección a través de una mirilla para determinar el nivel de líquido, como el de batido en el procesamiento de alimentos, o el de tinta en aplicaciones de impresión.
- Introducción a través de tubos sellados en depósitos o contenedores para productos químicos o soluciones acuosas. [1] Pág 5-8.

#### Ejemplo 5.1:

Una de las aplicaciones de este tipo de sensores es la de verificación de llenado como la que se ve a continuación.

**Figura. 17** Detección de nivel a través de una barrera.



Tomada de:

[Citado 10 de mayo de 2010; 9:10].

<http://www3.sea.siemens.com/step/templates/lesson.mason?sensors:4:3:4>

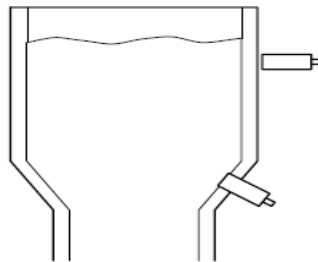
## 2. Cadenas de llenado de productos.

- Embotellado (champú).
- Detección de cajas completas para asegurarse de que un contenedor tiene el número requerido de productos.
- Comprobación de niveles de materiales, como el de cereales en caja.

### **Ejemplo 5.2:**

La detección de nivel en una tolva puede realizarse a través de una ventana o mediante la incrustación en el material.

**Figura. 18** La detección de nivel en una tolva.



Tomada de [1] Pág.5-9

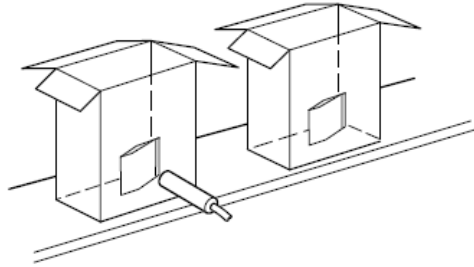
## 3. Detección de piezas de plástico.

- Plásticos en envases de productos, como surtidores o dosificadores en cajas de detergente para ropa.
- Materiales plásticos dentro de una tolva.

## 4. Detección de pallets para la manipulación de materiales.

**Ejemplo 5.3:**

**Figura. 19** Detección de productos a través del embalaje



Tomada de [1] Pág.5-10

5. Productos de forma irregular.

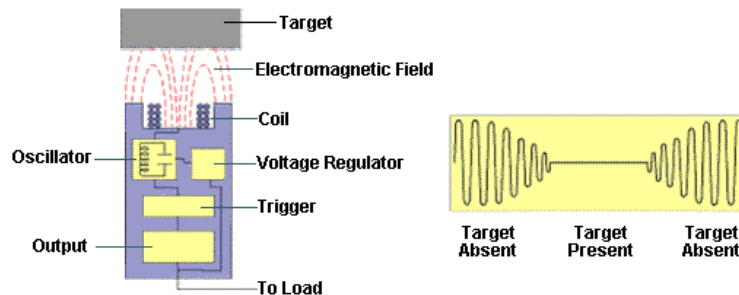
- Objetos orientados al azar en una cinta transportadora.
- Objetos muy texturados.

## 6. SENSORES INDUCTIVOS

Los sensores de proximidad inductivos son dispositivos de estado sólido diseñados para detectar objetos metálicos. Esta tecnología sin contactos junto con la ausencia de partes móviles hace que los sensores de proximidad inductivos no estén sujetos a daños ni desgaste mecánicos. Además, funcionan bien en ambientes muy sucios, en los cuales no se ven afectados por la acumulación de contaminantes tales como polvo, grasa, aceite u hollín en la cara de detección. Esto hace de la tecnología inductiva un candidato ideal para aplicaciones industriales intensas.

### Componentes básicos.

**Figura. 20** Proximidad inductiva típica.



Tomada de:

[Citado 15 de mayo de 2010; 10:20].

<http://www3.sea.siemens.com/step/templates/lesson.mason?sensors:3:2:1>

Un sensor de proximidad inductivo consta de cuatro componentes básicos:

- Conjunto de núcleo de ferrita y bobina

- Oscilador
- Circuito activador o de disparo
- Circuito de salida

**Conjunto de núcleo/ bobina (Coil):** El conjunto de núcleo de ferrita y bobina genera un campo electromagnético a partir de la energía eléctrica suministrada por el oscilador.

**Oscilador (Oscillator):** El oscilador suministra energía eléctrica al conjunto de núcleo de ferrita y bobina.

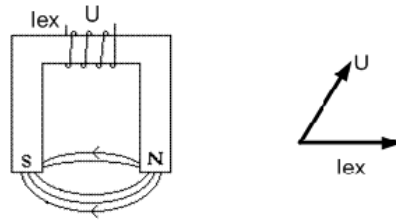
**Circuito activador (Trigger):** El circuito activador detecta cambios en la amplitud de la oscilación. Estos cambios se producen cuando un objeto metálico entra o sale del campo electromagnético irradiado desde la cara del sensor.

**Salida de estado sólido (Output):** Cuando se detecta un cambio suficiente en el campo electromagnético, la salida de estado sólido proporciona una señal eléctrica para la conexión en interface con un PLC o una lógica de máquina. Esta señal indica la presencia o ausencia de un objeto metálico en el campo de detección. [1] Pág. 4-2.

## 6.1 Principio de funcionamiento.

Cuando se hace pasar corriente alterna por una bobina esta induce un campo electromagnético. Cuando un material metálico se acerca a la zona de detección o área sensible, modifica la trayectoria de dicho campo, lo cual produce pérdidas de potencia, mientras que cuando no hay material en la zona de detección el voltaje  $U$  se encuentra aproximadamente en cuadratura con la corriente de excitación (Figura 21).

**Figura. 21** Transductor inductivo sin objeto a detectar.



Tomada de: [2] Pág. 14.

Cuando un material conductor eléctrico se aproxima al área sensible del sensor, se inducen corrientes de Eddy, se crea en el material un campo electromagnético que perturba al campo del sensor, cambiando la inductancia de la bobina y generando pérdidas electromagnéticas.

Estas corrientes de Eddy ocasionan pérdidas de potencia y son determinadas por la resistencia propia del objeto a detectar, su geometría, forma y espesor, su conductividad, y su permeabilidad magnética.

La variación en el flujo magnético se debe principalmente a dos efectos: magnéticos y eléctrico. [2] Pág. 14.

### **6.1.1 Efecto magnético.**

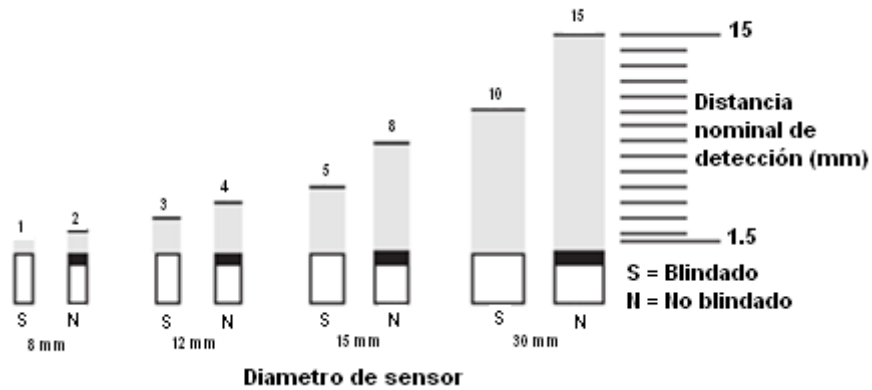
El acercamiento de un material magnético de alta permeabilidad a la zona de detección del sensor atrae el campo del objeto a detectar, refuerza el flujo electromagnético, el voltaje  $U$  (Figura 21) aumenta y permanece aproximadamente en cuadratura con la corriente de excitación, lo que disminuye la reluctancia total del sistema, por ende el flujo magnético total se refuerza y la inductancia de la bobina también aumenta.

### 6.1.2 Efecto eléctrico.

En un material conductor eléctrico que entra en contacto con un campo electromagnético se generan corrientes de Eddy que generan a su vez un campo secundario en el material que rechaza al campo primario, de esta forma el voltaje  $U$  (Figura 21) en cuadratura con la corriente de alimentación decrece, se producen pérdidas de potencia, reducción en el flujo total y reducción de la inductancia.

En algunos materiales como el cobre o el aluminio se presenta solamente efecto eléctrico, por otra parte, en el hierro se pueden manifestar ambos efectos, eléctrico y magnético, ya que siendo un material conductor eléctrico puede alinear sus dipolos magnéticos en presencia de un campo magnético exterior.

**Figura. 22** Distancia de detección nominal típica con blindaje o sin blindaje.



Tomada de [2] Pág. 4-3.

### 6.2 Diseño blindado o no blindado.

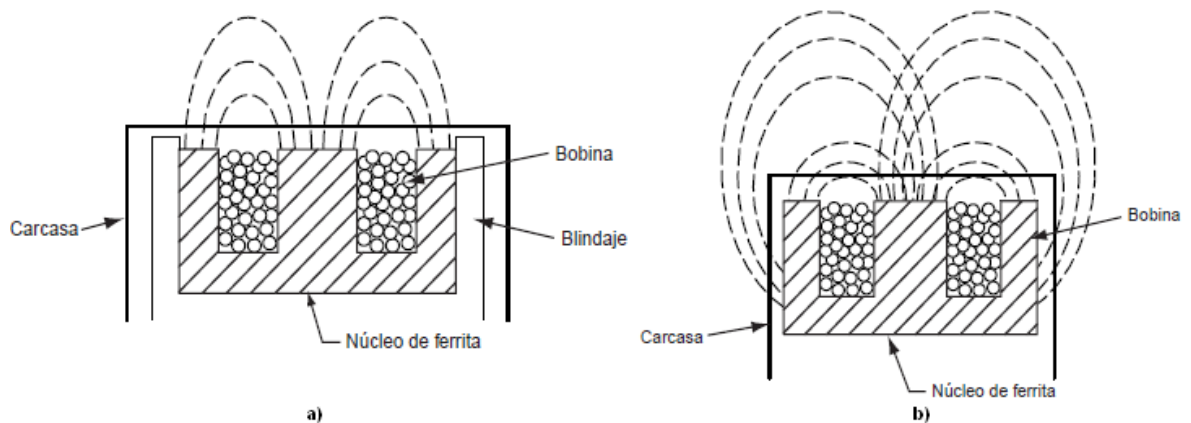
Igual que en el caso capacitivo, el blindaje en el sensor concentra el campo electromagnético. El blindaje en el sensor afecta tanto la distancia de detección

como la distancia que debe existir y el montaje entre sensores del mismo tipo. Como se verá también el blindaje o no blindaje hace que algunos objetos sean más o menos fáciles de detectar [1] Pág.4.3.

### 6.2.1 Diseño blindado.

El blindaje del sensor inductivo se puede dar por la misma carcasa, o por medio de un anillo metálico alrededor del núcleo de la bobina. Los sensores con diseño blindado se pueden instalar o montar a ras en partes metálicas, sin que este metal cause detecciones erróneas.

**Figura. 23** Conjunto de núcleo y bobina de diseño a) blindado b) no blindado.



Tomada de [1] Pág.4-4.

### 6.2.2 Diseño no blindado.

El campo electromagnético generado por un sensor no blindado no se concentra de manera efectiva frente a la cara del sensor, debido a que no poseen el anillo metálico alrededor de su núcleo como en un sensor blindado. Esto hace que los sensores no blindados sean más sensibles a los metales que los rodean, por lo

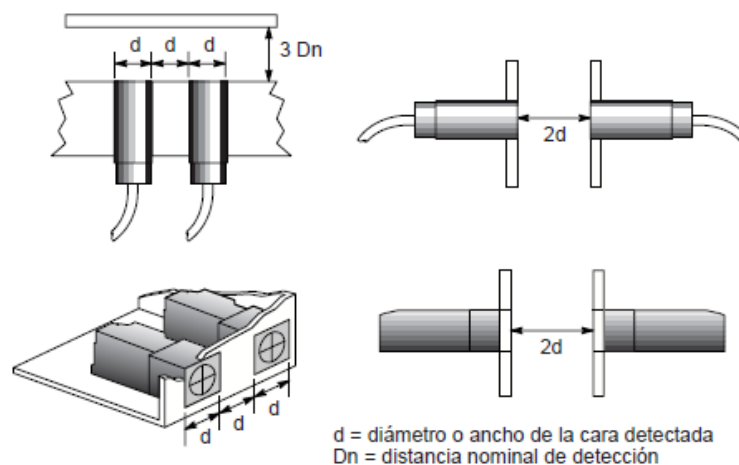
cual no pueden ser instalados a ras. Una de las ventajas de este sensor con respecto al blindado es que su margen de detección es hasta de un 50 % mayor.

Los sensores no blindados suelen requerir un espacio correspondiente a tres veces el diámetro de la cara de detección (para sensores contiguos) y a cuatro veces el diámetro de la cara de detección cuando se montan uno al frente del otro.

### 6.3 Consideraciones de espaciado.

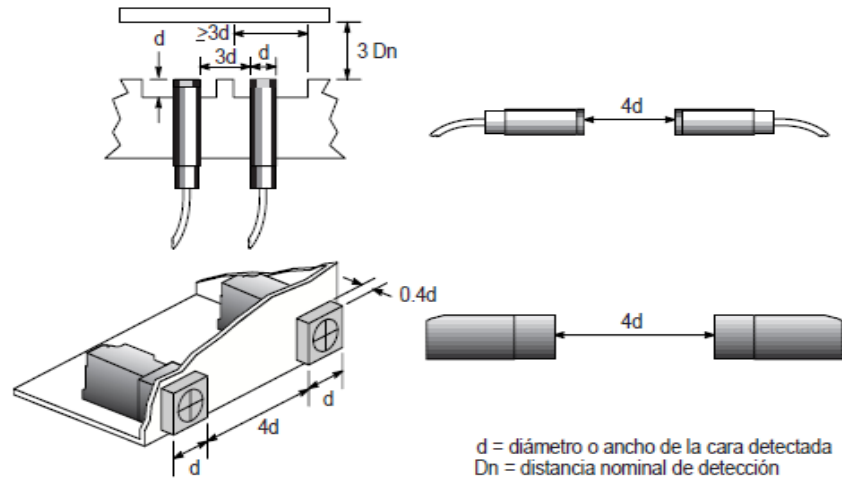
El espacio necesario entre los sensores varía dependiendo del dispositivo usado. No obstante, los sensores blindados suelen requerir una distancia correspondiente al diámetro de la cara de detección (en el caso de sensores contiguos) y dos veces el diámetro de la cara de detección (para sensores montados uno al frente del otro). Las figuras 24 y 25 muestran el montaje de sensores según si son blindados o no blindados.

**Figura. 24** Espaciado para sensores blindados contiguos y montados uno al frente del otro.



Tomada de [1] Pág.4-5.

**Figura. 25** Espaciado para sensores no blindados contiguos y montados uno al frente del otro.



Tomada de [1] Pág.4-5.

## 6.4 Consideraciones relativas al objeto.

La distancia de operación de un sensor de proximidad inductivo varía para cada objeto y cada aplicación. La capacidad de un sensor de detectar un objeto depende del material, de su tamaño y forma. [1] Pág. 4-7.

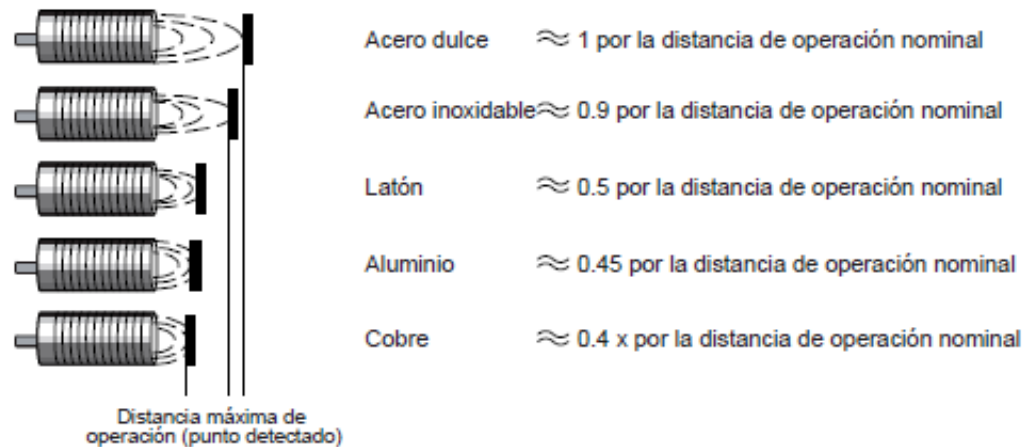
### 6.4.1 Efectos del material del objeto.

Existe una distancia de operación nominal ( $Dn$ ), estandarizada para una pieza metálica de acero dulce de 1 mm de grosor, con una longitud lateral igual a la cara de detección del sensor, o igual a tres veces la distancia de operación nominal.

En la figura 26 se muestran los factores de corrección típicos para diferentes metales.

El estándar del acero dulce se usa como factor de corrección para determinar la distancia nominal de otros materiales, los cuales se presentan en la tabla 3.

**Figura. 26** Factores de corrección típicos.



Tomada de [1] Pág.4-7.

**Tabla 3** Factores de corrección

| Material del objeto | Factor de corrección aproximado |
|---------------------|---------------------------------|
| Acero dulce         | 1.0                             |
| Acero inoxidable    | 0.85                            |
| Bronce o latón      | 0.50                            |
| Aluminio            | 0.45                            |
| Cobre               | 0.40                            |

Tomada de [1] Pág.4-7.

$$(\text{Rango de detección nominal}) \times (\text{factor de corrección}) = \text{margen detección}$$

#### **6.4.2 Efectos del tamaño y la forma del objeto.**

El tamaño y la forma del objeto también hacen variar la detección del sensor debido a esto se deben conocer para calcular en base a ellos el factor de corrección. Con respecto al tamaño y la forma se deben seguir las siguientes recomendaciones.

- De preferencia, usar objetos planos.
- Los objetos redondeados pueden reducir la distancia de operación.
- Los materiales no férricos suelen reducir la distancia de operación para los modelos de detección de todos los metales.
- Los objetos menores que la cara de detección suelen reducir la distancia de operación.
- Los objetos mayores que la cara de detección pueden aumentar la distancia de detección.
- Las láminas pueden aumentar la distancia de operación.

Si se tienen en cuenta factores como la temperatura y voltaje, la distancia de operación real se podría reducir hasta un  $\pm 20\%$  con respecto a la nominal.

#### **6.4.3 Movimiento de objetos.**

El objeto a detectar se puede acercar al sensor y causar su activación, o pueden alejarse o retroceder desde él y causar su desactivación.

#### **6.4.3.1 Aproximación lateral.**

Cuando un objeto se aproxima de manera lateral hacia la cara de detección del sensor, es necesario, conocer ciertos parámetros como frecuencia de conmutación o velocidad de respuesta.

#### **Aproximación directa (radial) del objeto.**

Cuando el objeto se acerca a un sensor de proximidad directamente hacia la cara de detección, la confiabilidad puede mejorarse considerando los efectos de la histéresis. Es también necesario tomar en cuenta la frecuencia de conmutación.

La frecuencia de conmutación es la velocidad máxima a la que el sensor emite pulsos individuales discretos cuando el objeto entra y sale del campo de detección. Este valor siempre depende del tamaño y velocidad del objeto, y de la distancia de la cara de detección.

### **6.5 Ventajas y desventajas de los sensores de proximidad inductivos.**

#### **6.5.1 Ventajas.**

Las ventajas de los sensores de proximidad inductivos son:

1. No se ven afectados por la humedad.
2. No se ven afectados por el polvo o la suciedad.
3. Carecen de partes móviles, por lo que no hay desgaste mecánico.
4. No dependen del color.
5. Tienen una dependencia menor de la superficie que otras tecnologías de detección.

6. No existe una zona ciega.

### 6.5.2 Desventajas.

Los inconvenientes de los sensores de proximidad inductivos son:

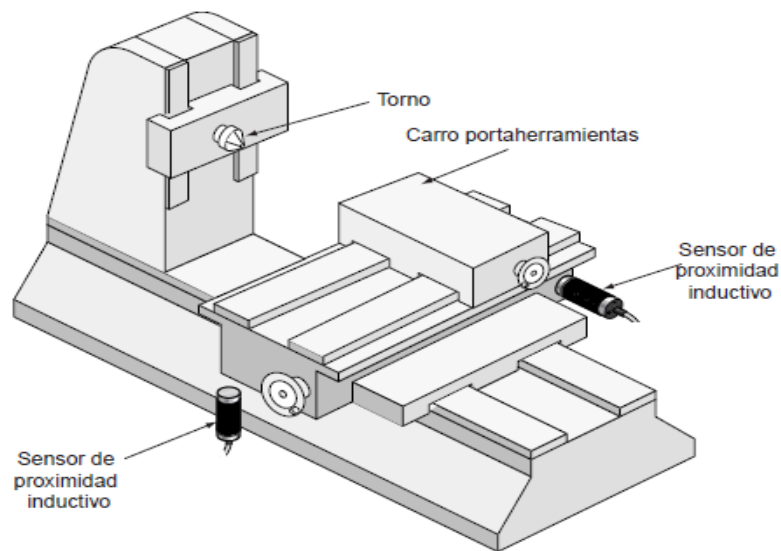
1. Sólo detectan la presencia de objetos metálicos.
2. El margen de operación es más corto que el de otros dispositivos de detección disponibles.
3. Pueden verse afectados por campos electromagnéticos intensos.

[1] Pág. 4-12

### 6.6 Aplicaciones del sensor inductivo.

**Ejemplo 6.1:**

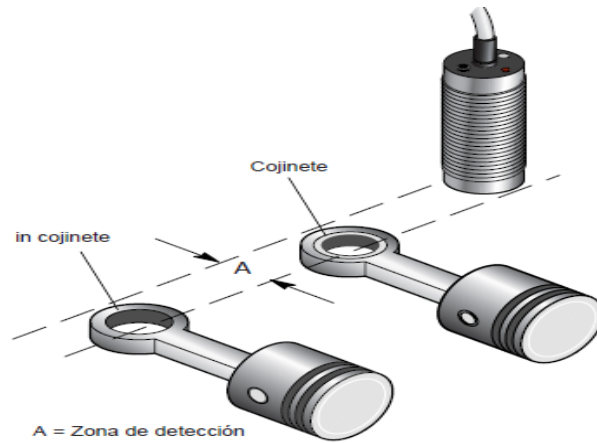
**Figura. 27** Máquinas herramientas.



Tomada de [1] Pág. 4-13.

**Ejemplo 6.2:**

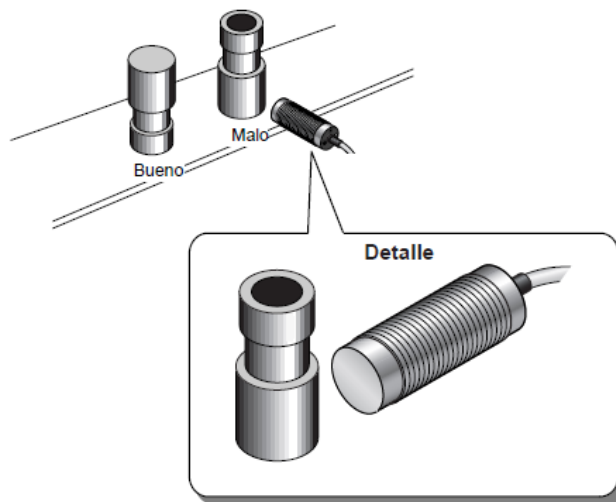
**Figura. 28** Detección de la presencia de un cojinete en un pistón.



Tomada de [1] Pág. 4-14.

**Ejemplo 6.3:**

**Figura. 29** Clasificación de piezas en línea.



Tomada de [1] Pág. 4-15.

## 7. SENSOR FOTOELÉCTRICO

Un sensor fotoeléctrico puede detectar todo tipo de materiales siempre y cuando estos reflejen la luz, puedan obstruirla, o causar algún cambio en el rayo de luz incidente como por ejemplo su intensidad o su longitud de onda: Existen en la actualidad gran variedad de sensores fotoeléctricos que pueden ser empleados en diferentes aplicaciones.

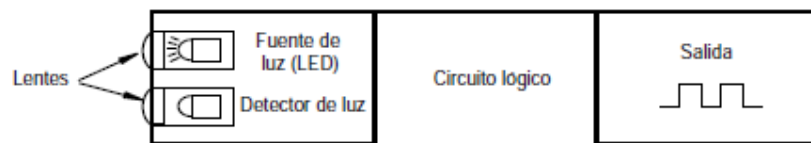
Los sensores de este tipo pueden detectar además de la presencia o ausencia del objeto, características del objeto como tamaño, color, reflectividad, opacidad y translucidez, a continuación se presentan los componentes que conforman la estructura básica del sensor fotoeléctrico.

### Componentes básicos

Los sensores fotoeléctricos constan de cinco componentes básicos:

- Fuente de luz
- Detector de luz
- Lentes
- Circuito lógico
- salida

**Figura. 30** Componentes de un sensor fotoeléctrico.



Tomada de [1] Pág. 7-2.

**Fuente de luz:** La mayoría de los sensores fotoeléctricos utilizan un diodo emisor de luz (LED) como fuente de luz. En la mayoría de los sensores fotoeléctricos se utilizan LED infrarrojos o rojos, verdes y azules visibles. El LED y sus correspondientes circuitos reciben, en conjunto, el nombre de emisor.

Cada color de LED ofrece características diferentes. Los infrarrojos son los más eficaces, ya que son los que más luz y menos calor generan y se utilizan en sensores en los que se necesita una salida de luz máxima para un rango de detección extenso.

Los LED rojos, azules y amarillos visibles se utilizan en aplicaciones en las que se deben detectar colores o contrastes específicos, y también se utilizan como indicadores de estado en sensores fotoeléctricos.

En los últimos tiempos también se han empezado a utilizar diodos de láser como fuentes de luz fotoeléctricas, los cuales presentan las siguientes características:

- Emisión de luz de longitud de onda (color) invariable
- Diámetro de haz pequeño
- Mayor alcance

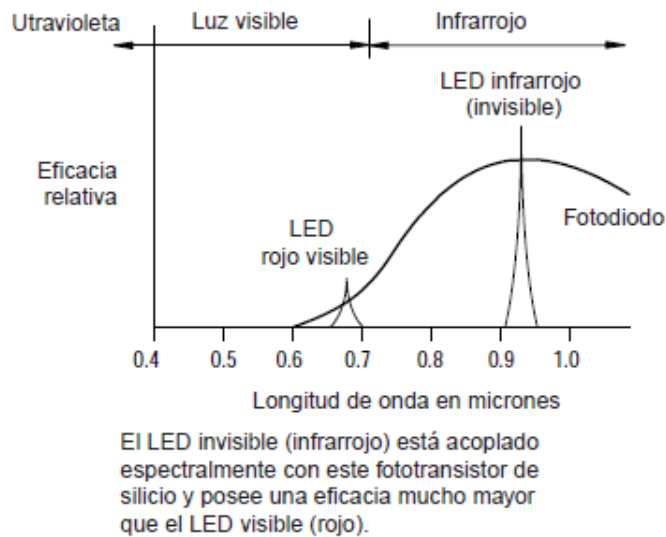
A pesar de tener un alcance mucho mayor, una de las desventajas del diodo laser es que su rayo de luz se puede ver más afectado por el polvo.

*Modulación de un LED:* Una de las mayores ventajas de los LED es su capacidad de encenderse y apagarse rápidamente. Esto permite controlar los pulsos o establecer la modulación de la fuente.

Los sensores fotoeléctricos conmutan o modulan rápidamente la corriente conducida por un LED (a menudo mayor a 5 KHz). Un ciclo de trabajo suave o

poco intenso (normalmente inferior al 5%) permite que la cantidad de corriente y, por tanto, la cantidad de luz emitida excedan con creces el límite permisible en una operación continua.

**Figura. 31** Respuesta espectral.



Tomada de [1] Pág. 7-4.

**Detector de luz:** Está compuesto por un fotodiodo o fototransistor, es un componente de estado sólido que proporciona un cambio en la corriente conducida dependiendo de la cantidad de luz detectada. Los detectores de luz son más sensibles a ciertas longitudes de onda. A menudo para mejorar la eficacia del dispositivo el emisor y el receptor operan a la misma longitud de onda. Al elemento detector de luz y a los circuitos asociados se les denomina receptor. En la figura 31 se puede ver la respuesta espectral

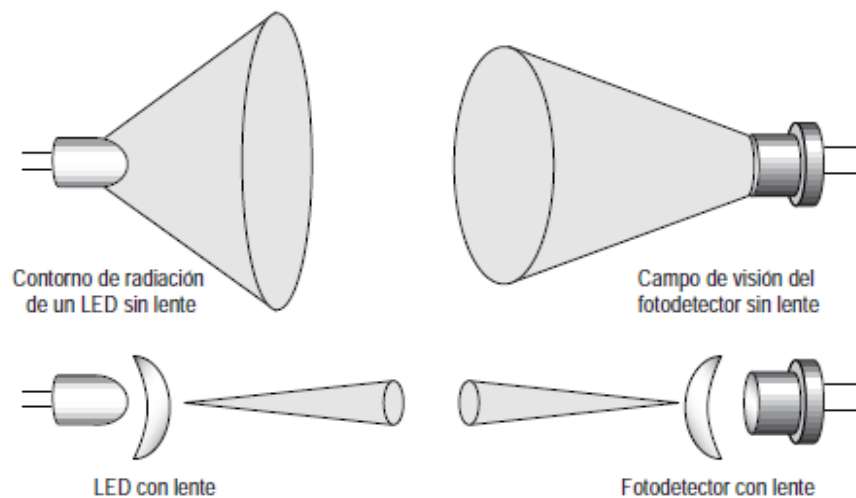
**Circuito lógico:** Mediante este componente se puede modular la cantidad de luz en el diodo emisor, activar o desactivar el sensor dependiendo también de la

cantidad de luz detectada en el receptor y realizar la adecuación necesaria a las señales (Amplificación, filtración, etc.).

**Dispositivo de salida:** Entrega el nivel de tensión o corriente correspondiente a la detección o medición realizada. Esta salida puede ser discreta o analógica dependiendo de la aplicación del sensor.

**Lentes:** Se utilizan para estrechar la apertura del rayo de luz que generan los LED y la luz que llega a los fotodetectores (Figura 39). La utilización de lentes provoca que la distancia de detección aumente, a medida que se estreche el rayo de luz.

**Figura. 32** LED y fotodetector con y sin lentes.



Tomada de [1] Pág.7-7.

**Detección sincrónica:** El receptor y el emisor están sincronizados para mejorar la precisión de detección. El receptor capta pulsos de luz idénticos a los pulsos generados por el emisor de la luz, e ignora pulsos de luz provenientes de otras

fuentes distintas. Este tipo de detección es más común cuando detector y emisor están en el mismo dispositivo.

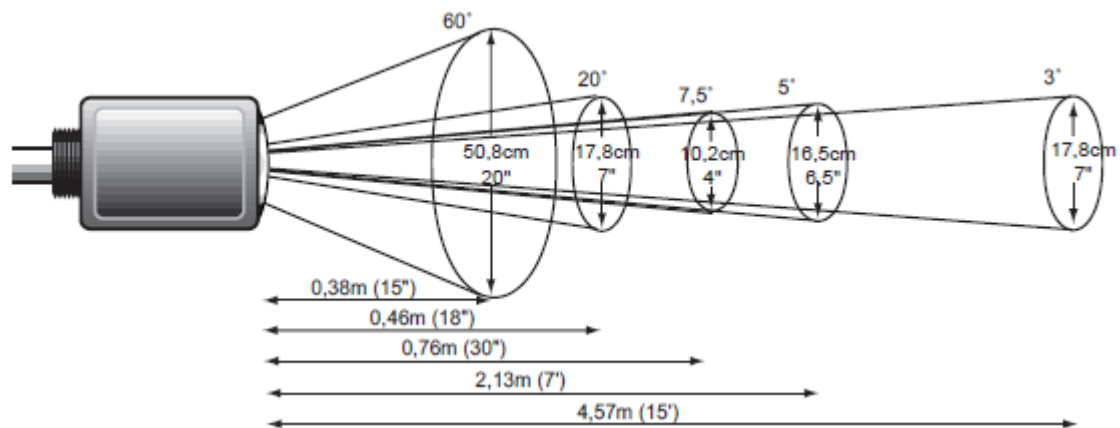
## 7.1 Principio de funcionamiento

Los sensores fotoeléctricos detectan los cambios en la intensidad luminosa o intensidad de la radiación electromagnética incidente. Obteniéndose a la salida del sensor un valor proporcional a esta variación. [1] Pág. 76

## 7.2 Margen de detección.

**Campo de visión:** El campo de visión se refiere a la apertura del cono del rayo de luz, el cual si es demasiado pequeño, haría muy difícil la alineación entre emisor y receptor en el caso de sensores que lleven estos elementos de manera independiente. Existen aplicaciones también para sensores con conos de luz amplios, los cuales pueden detectar objetos en una zona ancha, sin embargo su alcance es más corto.

**Figura. 33** Campo de visión frente a distancia de detección relativa.



Tomado de [1] Pág. 7-8.

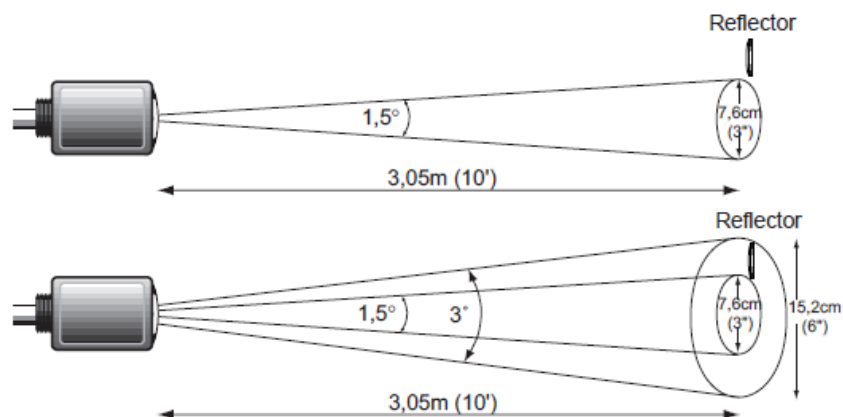
El campo de visión típico va de  $1,5^\circ$  a  $7^\circ$  para distancias máximas y facilidad de alineación. Los sensores con haces de más de  $40^\circ$  se llaman “de gran angular”. Los sensores con haces que convergen se suelen llamar “de foco fijo”.

El punto luminoso para un sensor con un campo de visión de  $1,5^\circ$  es de entre 7,6 cm (3 pulgadas) a 3,05 m (10 pies), lo cual dificulta mucho la alineación. Un sensor con un campo de visión de  $3^\circ$  tiene un punto luminoso de entre 15,2 cm (6 pulgadas) a 3,05 m (10 pies), lo cual hace más fácil la alineación.

**Contorno del haz:** Define de manera grafica la zona de detección del sensor fotoeléctrico, es de gran importancia ya que existen distancias en las cuales la detección es más amplia que en otras.

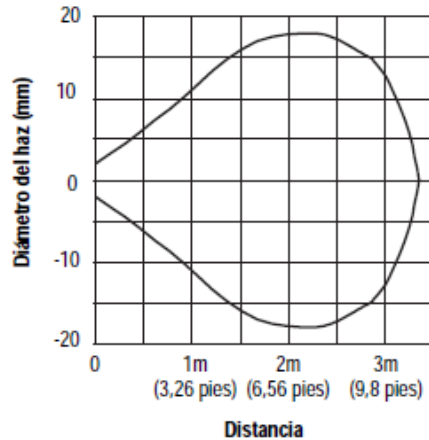
El contorno indica los límites de detección, cualquier objeto por fuera de dicha área será ignorado. Los diagramas de detección entregados por el fabricante se han generado en condiciones limpias y una alineación óptima, en los cuales se evitan los componentes ambientales como polvo, contaminación, etc.

**Figura. 34** Campo de visión frente a facilidad de alineación.



Tomada de [1] Pág. 7-8.

**Figura. 35** Contorno del haz.



Tomado de [1] Pág. 7-9.

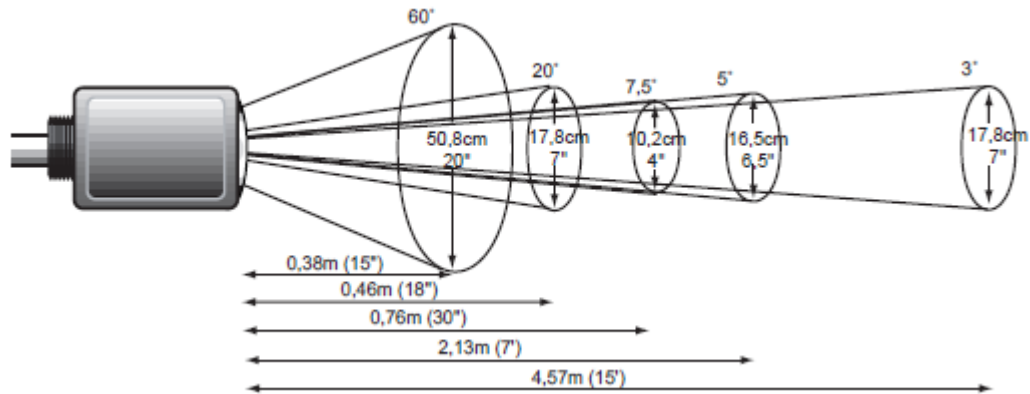
**Haz efectivo:** El haz efectivo de un sensor fotoeléctrico corresponde a la luz que sale del lente emisor y llega al lente receptor. Tanto el tamaño como la forma del haz efectivo se ven afectados por el modo de detección.

**Distancia máxima de detección:** Esta especificación se refiere a la distancia de detección en los siguientes casos:

- Desde el sensor al reflector en sensores retrorreflectivos y sensores retrorreflectivos polarizados
- Desde el sensor al objeto normal en todo tipo de sensores de detección difusa
- Desde la fuente de luz al receptor en sensores de haz transmitido

En caso de ambientes con agentes contaminantes, los sensores se deben aplicar a distancias más cortas para aumentar el margen de operación hasta un valor aceptable y mejorar así la precisión.

**Figura. 36** Distancia de detección.



Tomada de [1] Pág. 7-10.

**Distancia mínima de detección:** Se refiere al límite inferior de medición el cual comienza después de la zona muerta. Es el primer valor del rango en que la lectura es precisa y correcta.

**Margen:** Corresponde a una medida de la cantidad de luz procedente de la fuente de luz que es detectada por el receptor. El margen se explica mejor con los siguientes ejemplos:

- Un margen de "0" se produce cuando el detector de luz no puede detectar la luz emitida por la fuente de luz.
- Un margen de "1" se obtiene cuando se detecta la luz suficiente para conmutar el dispositivo de salida (de apagado a encendido o de encendido a apagado).
- Un margen de "20" se obtiene cuando se detecta 20 veces el nivel mínimo de luz necesario para conmutar el estado del dispositivo de salida.

El margen se define como:

$$\frac{\text{Cantidad real de luz detectada}}{\text{Cantidad mínima necesaria para cambiar el estado del dispositivo de salida}}$$

El margen máximo de detección de este sensor es de 1 m (39,4 pulgadas) hasta un objeto estándar. Se puede obtener un margen de 4X a aproximadamente la mitad de esa distancia, vale decir 500 mm (19,7 pulgadas).

### **7.3 Clasificación de los sensores fotoeléctricos.**

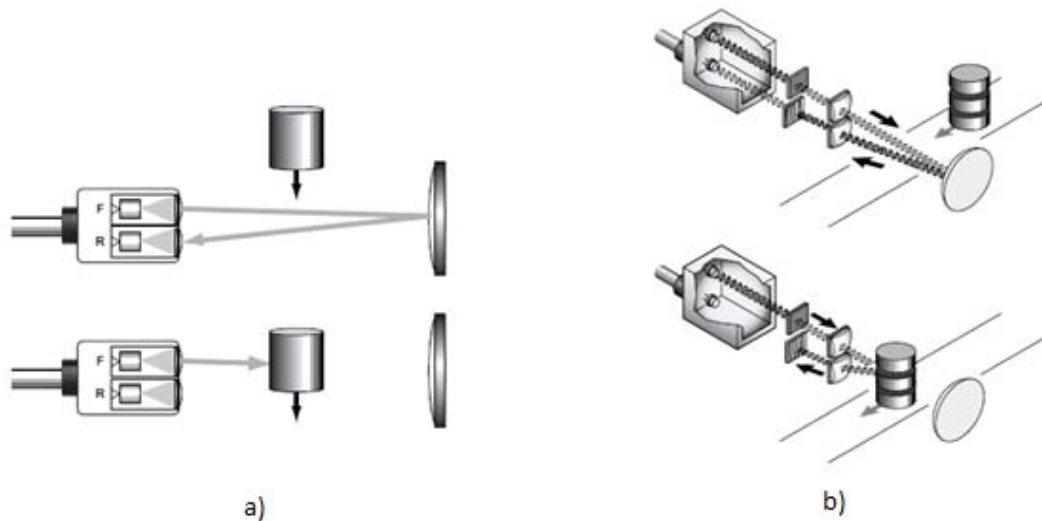
Los sensores fotoeléctricos pueden operar de diferentes maneras, en la cuales la señal de luz captada puede indicar presencia o ausencia de un objeto dentro de la zona de detección.

Se presentan sensores fotoeléctricos, en los que el emisor y el receptor se encuentran en el mismo dispositivo, los cuales se denominan retrorreflectivos, existen otros casos en los cuales el emisor y el receptor vienen en dispositivos separados. En algunos de los casos anteriores se requieren de accesorios para que el dispositivo funcione. [1] Pág. 7-22.

#### **7.3.1 Sensores retrorreflectivos.**

Para la detección retrorreflectiva se utilizan reflectores especiales o cintas reflectantes. Al contrario que los espejos u otras superficies reflectivas planas, estos materiales reflectivos no tienen que estar perfectamente alineados en perpendicular con el sensor. Es normal que una alineación incorrecta de un reflector o una cinta reflectante de hasta 15° no reduzca de manera significativa el margen de un sensor.

**Figura. 37** Detección a) retrorreflectiva b) retrorreflectiva polarizada.



Tomada de [1] Pág. 7-23.

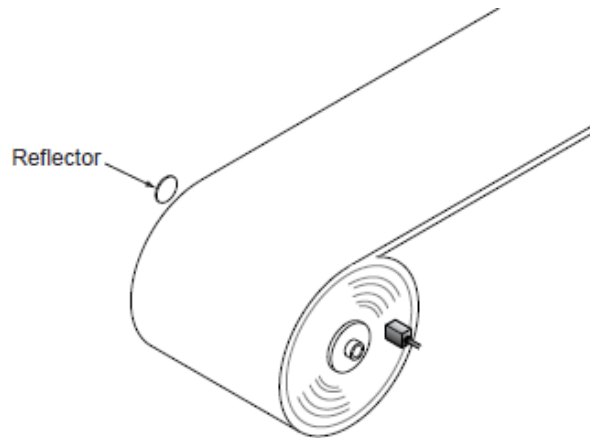
### 7.3.2 Sensores retrorreflectivos polarizados.

Los sensores retrorreflectivos polarizados contienen filtros polarizantes delante del emisor y del receptor que orientan la luz a un solo plano. Estos filtros están colocados en perpendicular o con un desfase de  $90^\circ$  entre sí.

El haz de luz se polariza cuando pasa por el filtro. Cuando la luz polarizada se refleja en un objeto, sigue permaneciendo polarizada y cuando se refleja en un reflector despolarizante, se despolariza. El receptor sólo puede detectar la luz reflejada que se haya despolarizado. Por ello, el receptor no ve (no recibe) la luz de objetos reflectivos que no hayan despolarizado la luz. El sensor “ve” el reflejo de un reflector y no “ve” el reflejo de la mayoría de los objetos brillantes.

A continuación se presenta un ejemplo de una aplicación típica de los sensores retrorreflectivos y retrorreflectivos polarizados.

**Figura. 38** Detección de residuos en rodillos.



Tomada de [1] Pág. 7-28.

**Alineación del sensor retroreflectivo:** La alineación del sensor se consigue mediante los siguientes pasos:

1. Apunte el sensor al reflector (o cinta reflectante).
2. Desplace despacio el sensor hacia la izquierda hasta que ya no se detecte el reflector.
3. Tome nota de esta posición, mueva despacio el sensor hacia la derecha y tome nota del punto cuando el reflector deja de detectarse.
4. Centre el sensor entre estas dos posiciones y luego desplácelo hacia arriba y hacia abajo para centrarlo verticalmente.

### **7.3.3 Detección de haz transmitido.**

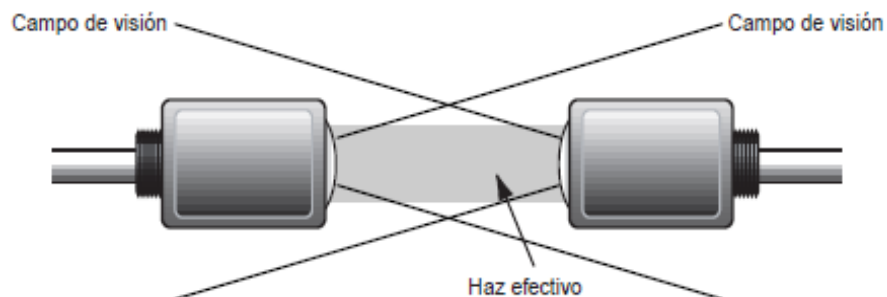
En este caso, el emisor y el receptor se encuentran como dispositivos separados, para poder detectar un objeto el detector y el emisor deben estar alineados uno frente al otro, esta distancia puede ser la máxima que entregue el fabricante, o se pueden ubicar a una distancia menor para facilitar su ubicación en lugares de tamaño reducido.

## Alineación del sensor de detección del haz transmitido.

La alineación del sensor se consigue mediante los siguientes pasos:

1. Apunte el receptor a la fuente de luz.
2. Desplace despacio el sensor hacia la izquierda hasta que la fuente de luz ya no se detecte.
3. Tome nota de esta posición, desplace el sensor despacio hacia la derecha y tome nota de cuándo deja de detectarse el reflector.
4. Centre el receptor entre estas dos posiciones y luego desplácelo hacia arriba y hacia abajo para centrarlo verticalmente.

**Figura. 39** Haz efectivo.



Tomada de [1] Pág. 7-16.

## 7.4 Ventajas de los sensores fotoeléctricos.

En general los sensores fotoeléctricos tienen ventajas significativas, lo cual los distingue en aplicaciones importantes frente a otros detectores.

A continuación se describen algunas de las más significativas:

### **Ventajas.**

1. Poseen amplios rangos de detección.
2. Pueden detectar cualquier objeto sin importar el material en el que estén contruidos (metal, madera, plástico, etc.).
3. Exactitud en la salida.
4. Según la longitud de onda pueden distinguir colores.
5. El objeto a detectar no necesariamente debe estar perpendicular al rayo de luz incidente, no obstante existe un ángulo límite.

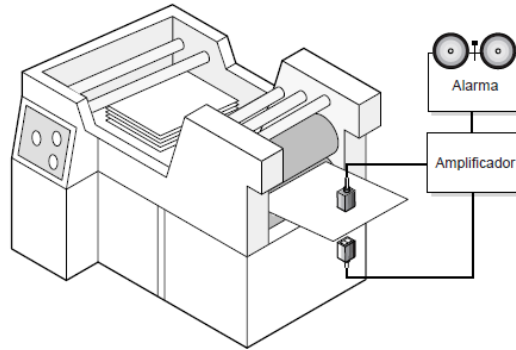
### **Desventajas.**

1. Requieren de construcción especial para detectar objetos transparentes.
2. Los accesorios como reflectores y receptores deben estar alineados de manera lo más exacta posible con el emisor, para evitar errores de detección.
3. Requieren de funciones especiales para detectar objetos en claro y oscuro.
4. Su detección es afectada por factores como polvo y contaminación del ambiente.

## 7.5 Aplicaciones De Los sensores fotoeléctricos.

### Ejemplo 7.1:

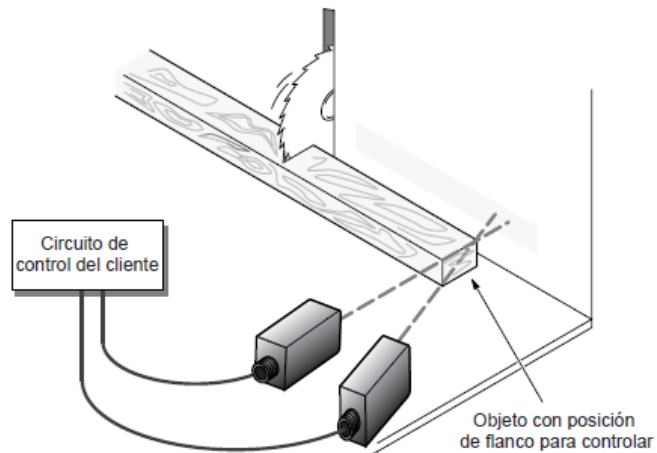
**Figura. 40** Detección de doble hoja.



Tomada de [1] Pág. 7-21.

### Ejemplo 7.2:

**Figura. 41** Detección de flancos o bordes mecánicamente convergentes.



Tomado de [1] Pág. 7-21.

## 8. SENSOR ULTRASÓNICO

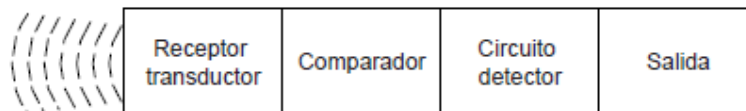
Los sensores ultrasónicos son capaces de detectar prácticamente cualquier tipo de material, debido a que basan su funcionamiento en la reflexión de una onda de sonido a cierta frecuencia que choca contra el objeto y la refleja, en donde el tiempo transcurrido entre el ir y volver de la onda es proporcional la distancia del elemento detectado, o el simple hecho del retorno del sonido indica presencia. Tal como los sensores anteriores, el sensor ultrasónico está compuesto también de una serie de componentes que permiten la adecuación de las ondas recibidas y la generación de las señales de ultrasonido, entre otras funciones necesarias para su funcionamiento, a continuación se describen estos componentes.

### Componentes básicos del sensor ultrasónico

Los sensores de proximidad ultrasónicos tienen cuatro componentes básicos:

- Transductor/receptor
- Comparador
- Circuito detector
- salida de estado sólido.

**Figura. 42** Componentes de un sensor de proximidad ultrasónico.



Tomada de [1] Pág. 6-2.

**Transductor/receptor:** El transductor ultrasónico emite pulsos en forma de ondas sonoras desde la cara del sensor. El transductor también recibe ecos de esas ondas cuando se reflejan en un objeto.

**Comparador y circuito detector:** Cuando el sensor recibe el eco, el comparador calcula la distancia comparando los tiempos de emisión-recepción con la velocidad del sonido.

**Circuito detector:** El circuito detector está conformado por un elemento piezoeléctrico, el cual al ser comprimido en uno de sus ejes genera una tensión proporcional a determinada presión. Cada uno de los pulsos del eco de ultrasonido genera compresión y por lo tanto un nivel de tensión. Este nivel de tensión es procesado por el circuito del detector, que recibe la tensión del elemento piezoeléctrico, el cual se encarga de calcular el tiempo transcurrido entre el ir y volver de los pulsos.

**Dispositivo interruptor de salida de estado sólido:** La salida de estado sólido genera una señal eléctrica que se debe interpretar con un dispositivo de interface tal como un controlador lógico programable (PLC). La señal procedente de los sensores digitales indica la presencia o ausencia de un objeto en el campo de detección. La señal que proviene de los sensores analógicos indica la distancia a un objeto en el campo de detección. [1] Pág. 6-2.

## **8.1 Principio de funcionamiento.**

El emisor ultrasónico envía una serie de pulsos dentro en frecuencias de 25 KHz a 500 KHz (imperceptibles por el oído humano) en forma de onda acústica, cuando esta onda choca contra un determinado obstáculo, se produce la reflexión de la misma, lo que genera el eco de ultrasonido, este eco regresa hacia el sensor, el cual contiene un receptor.

Internamente se mide el tiempo que demoró el tren de pulsos en ir y volver y este tiempo representa la distancia del objeto, debido, a que se puede asumir que el sonido tiene una velocidad constante de 350 m/s, y se conoce la relación lineal proporcional a la velocidad que existe entre el espacio y el tiempo.

Existen inconvenientes con el medio de propagación el cual puede causar que la relación entre el tiempo y el espacio varíen y se obtengan respuestas erróneas por parte del detector, igual que con la temperatura, ya que puede causar variación en la presión del aire y al calentarse el material puede no reflejar las ondas de ultrasonido de manera adecuada. Referirse a [2] cap. 4.

**Frecuencia de detección:** En general, los sensores industriales operan entre 25 kHz y 500 kHz. Los equipos médicos de ultrasonido operan a 5 MHz o más. La frecuencia de detección es inversamente proporcional a la distancia de detección. Mientras que una onda sonora de 50 kHz puede operar a 10 m (33 pies) o más, una onda sonora de 200 kHz está limitada a un margen de detección de aproximadamente 1 m (3 pies).

## **8.2 Consideraciones relativas al objeto.**

Generalmente se requiere que la cara del sensor este en un ángulo inferior a 3° con respecto a la superficie del objeto a detectar. Los objetos planos y lisos requieren de una alineación exacta del sensor.

Al detectar superficies de objetos irregulares, las cuales dispersan el sonido, el ángulo de aproximación es menos importante y se debe calcular de manera experimental la detección del objeto.

La temperatura de la superficie del objeto también puede influir en el margen de detección. El calor irradiado por objetos que están a altas temperaturas distorsiona

el haz sonoro, lo cual acorta el margen de detección y produce lecturas imprecisas.

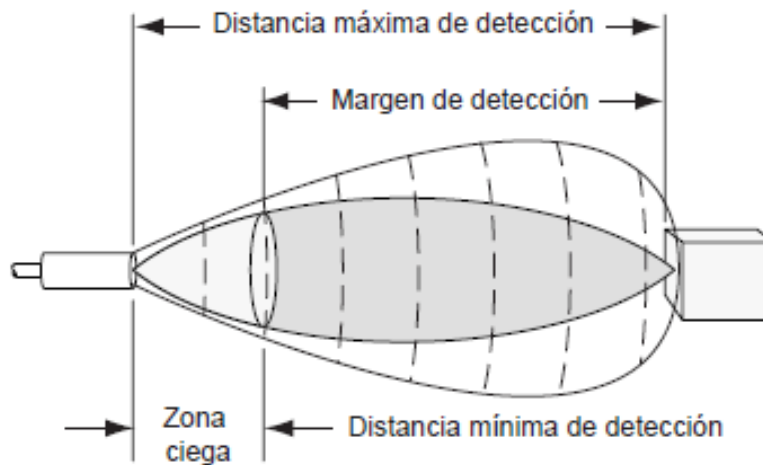
También el tamaño del objeto influye en la detección, los objetos de menor tamaño son más difíciles de detectar. [1] Pág. 6-7.

### 8.3 Características de los sensores ultrasónicos.

**Margen de detección y haz efectivo:** Es el área comprendida en los límites del rango del sensor ultrasónico.

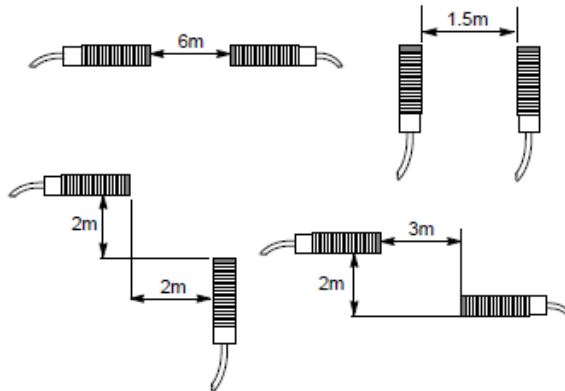
**Distancia de detección mínima:** Existe una pequeña área llamada zona muerta o zona ciega en la que el sensor recibe la señal reflejada sin haber terminado de emitir dicha señal, el borde de esta área corresponde a la distancia mínima de detección, o límite inferior del rango de medición o detección.

**Figura. 43** Distancia de detección ultrasónica.



Tomada de [1] Pág. 6-3.

**Figura. 44** Espaciados de referencia.



Tomada de [1] Pág. 6-5.

**Distancia de detección máxima:** Esta distancia depende en gran manera del material que se quiera detectar, debido a que la textura y la dureza pueden reflejar con menor o mayor intensidad, sin embargo el fabricante entrega un rango de medición en las hojas de datos.

**Haz efectivo:** Mediante un potenciómetro se puede ajustar el cono de ultrasonido que emite el sensor ultrasónico para hacerlo más o menos ancho, en donde el hecho de aumentar el ancho del cono disminuye el alcance y hacer lo menos ancho aumenta el alcance.

**Distancia entre sensores ultrasónicos:** El espacio entre los sensores está determinado por el ángulo de sus haces. Los sensores deben estar espaciados de manera que no se interfieran entre sí. Esta interferencia recibe en ocasiones el nombre de “diafonía” o “cruce”. [1] Pág. 6-3.

Cuando se está utilizando más de un sensor ultrasónico, pueden emplearse los espaciados de la figura 44 como referencia:

## **8.4 Ventajas y desventajas de los sensores de proximidad ultrasónicos.**

### **8.4.1 Ventajas.**

1. Los sensores de proximidad ultrasónicos pueden detectar objetos grandes a una distancia de hasta 15 m (49 Pies).
2. La detección es independiente del color del material.
3. La precisión en cuanto a detección repetida de los sensores ultrasónicos con salidas digitales (encendido/apagado) es excelente.
4. La respuesta de los sensores ultrasónicos analógicos es lineal con respecto a la distancia.

### **8.4.2 Desventajas.**

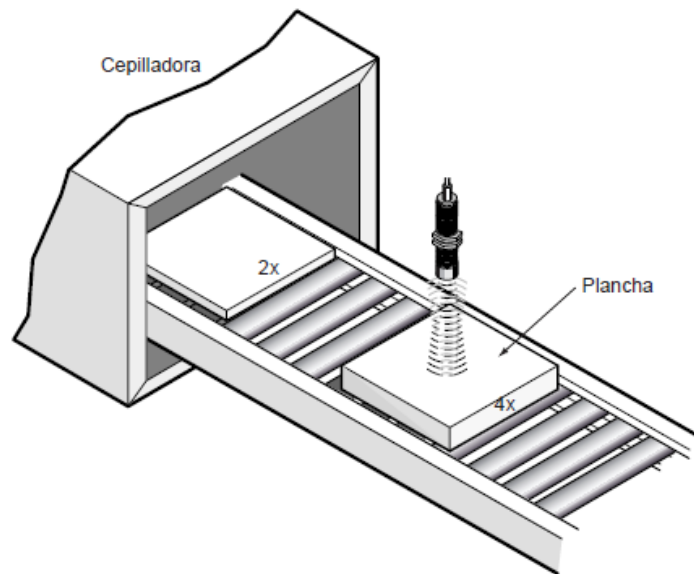
1. Requieren que la superficie sea dura y que se encuentre perpendicular al emisor de ultrasonido, para poder obtener una medición exacta.
2. Los ruidos agudos como “silbidos” de canales de aire o válvulas pueden ocasionar detecciones falsas.
3. Tienen un mayor tiempo de respuesta (0.1 S) ya que requieren un tiempo para enviar y medir el eco recibido lo cual no representa problemas en aplicaciones lentas como medición de nivel líquidos. Sin embargo aquellos con emisor y receptor uno en frente del otro tienen tiempos de respuesta más rápidos (0.002 o 0.003 S).
4. Los sensores de proximidad ultrasónicos necesitan de una distancia de detección mínima.
5. Los cambios en las características del ambiente, como la temperatura, la presión, la humedad, el aire y las partículas transmitidas por el aire, afectan la respuesta ultrasónica.

6. Los objetos de baja densidad, como la espuma y la tela, tienden a absorber la energía sonora; estos materiales pueden ser difíciles de detectar a grandes distancias.
  7. Las superficies lisas reflejan la energía sonora mejor que las irregulares; sin embargo, el ángulo de detección para una lisa suele ser más crítico que el ángulo de detección para una irregular.
- [1] Pág. 6-11.

## 8.5 Aplicaciones De Los sensores ultrasónicos.

### Ejemplo 8.1:

**Figura. 45** Medición de distancias, alturas y posicionamiento de piezas.



Tomada de [1] Pág. 6-11.

**Ejemplo 8.2:**

**Figura. 46** Control de nivel en depósitos (contenido granular o líquido).



Tomada de [1] Pág. 6-11.

## **9. CONSTRUCCIÓN DEL MÓDULO**

En este capítulo se encuentra todo lo referente a la construcción del módulo didáctico de sensores, comenzando por la selección de los elementos que lo conforman (sensores y demás dispositivos) y los materiales necesarios para su construcción.

Luego de presentar todos los componentes antes descritos se aborda el tema del diseño donde se detallan las dimensiones del módulo, basados en las dimensiones de los componentes y las distancias que se deben respetar entre cierto tipo de dispositivos.

### **9.1 Selección de sensores, elementos y materiales a usar.**

En el siguiente listado se presentan los elementos tenidos en cuenta para la construcción del módulo, iniciando con los sensores, y luego los accesorios necesarios para analizar la respuestas de los sensores [Visualizador y regla (Linear scale)], siguiendo, con la descripción del material que se usó para construir el banco de trabajo y finalizando con la presentación de los componentes se presenta el diseño del circuito impreso necesario para las conexiones de los diferentes elementos.

Para la selección de cada uno de los elementos se tuvieron en cuenta ciertas características las cuales se presentan después de la lista de componentes.

#### **9.1.1 Listado de elementos a usar.**

La siguiente es la lista de los elementos que conformaran el módulo didáctico de sensores:

- Sensor laser (PEPPERL+FUCHS) VDM28-8-L-IO/73c/110/122
- Sensor capacitivo (SIEMENS) 3RG 1655-6LD00
- Sensor ultrasónico (Sonar BERO SIEMENS) 3RG 6013-3AD00
- Sensor inductivo (SIEMENS) 3RG 4014-3AG01
- Sensor inductivo (SIEMENS) 3RG 4024-0KB00
- Sensor fotoeléctrico (SIEMENS) 3RG 7642-0AB00 y 3RG 7642-0BG00
- Sensor fotoeléctrico (SIEMENS) 3RG 7620-1RH60
- Sensor fotoeléctrico (SIEMENS) 3RG 7401-0CH52
- Visualizador con entradas digitales y entradas analógicas de 4 a 20 mA. (PEPPERL+FUCHS) DA5-IU-2K-V.
- Banco de trabajo (Construido en COLD ROLL).

A continuación se presenta mediante tablas las ventajas obtenidas al escoger un sensor comparando sus características con otros sensores del mismo tipo. La segunda columna de dicha tabla contiene el sensor escogido, y las dos columnas siguientes muestran los dos sensores con los cuales se hace la comparación, a excepción del caso inductivo en donde se seleccionaron dos de ellos.

Antes de empezar con las tablas es importante saber que las razones por las que se eligió determinado tipo de sensor, son diferentes, ya que en cada caso se pretende dar a conocer o demostrar alguna característica en particular.

### 9.1.1.1 Sensor Laser

**Tabla 4.** Sensor Laser.

| <b>CARACTERÍSTICAS</b>              | <b>Sensor laser VDM28-8-L-IO/73c/110/122</b>  | <b>Sensor laser VDM35-6-L/20/105/122</b>  | <b>Sensor Laser VDM54-6000-R-3999/20/88/105</b> |
|-------------------------------------|---|---|---|
| Rango de medición                   | 0,2 ... 8 m   | 0,2 ... 6 m   | 0 ... 6 m                                       |
| Emisor de luz                       | Diodo láser<br>Vida útil típ. 85.000 h con<br>Ta = +25 °C   | Diodo láser   | Diodo láser                                     |
| Tipo de luz                         | Luz alterna, roja   | Luz alterna, roja<br>Infrarrojo, luz alterna  | Infrarrojo, luz alterna                         |
| <b>Características láser</b>        |   |   |   |
| Clase de laser                      | 2   | Láser de medición: 1<br>Láser para alineación: 2  | 1   |
| Longitudes de onda                  | 660 nm  | Láser de medición: 905 nm<br>Láser para alineación: 650 nm  | 900 nm  |
| Procesos de medición                | Pulse Ranging Technology (PRT)  | Medición del tiempo de propagación del láser  | Pulse Ranging Technology (PRT)                  |
| Diametro del haz de luz             | < 10 mm a una distancia de 8 m a 20 °C  | 4 mm x 12 mm a una distancia de 6 m   |   |
| <b>Displays/Elementos de manejo</b> |   |   |   |
| Indicación de la función            | 2 LEDs amarillos para estado de conmutación   | LED amarillo: Estado de conmutación (2x) ,<br>LED naranja : Modo de trabajo   | LED verde                                       |
| Elementos de mando                  | Interruptor giratorio de 5 posiciones para seleccionar los modos de funcionamiento (ajuste de los umbrales de conmutación y servicio) | Area de trabajo :<br>Regulador para punto de conmutación ,<br>Modo de trabajo ,<br>Salida analógica ( Juego S , Basculador T) |   |
| Elementos de mando                  | Pulsador para establecer valores de umbral  |   |   |
| Tensión de trabajo                  | 10 ... 30 V CC / para un servicio en el modo  | 18 ... 30 V CC , Clase 2  | 18 ... 30 V CC                                  |
| <b>Salida</b>                       |   |   |   |
| Salida señal                        | Salida de contrafase, protección contra cortocircuito, protección contra inversión de polaridad                                       | 2 pnp protegidos contra cortocircuito   | RS 485  |

| <b>Datos mecánicos</b> |                                  |                                 |                                 |
|------------------------|----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| Tipo de protección     | IP65                             | IP67                            | IP54                            |
| Conexión               | Conexión. macho M12 x 1, 4 polos | Conector macho M12 x 1, 5 polos | Conector macho M12 x 1, 5 polos |

Tomada de [11].

La selección de este sensor laser (VDM28-8-L-IO/73c/110/122) se llevó a cabo mediante los siguientes criterios:

Básicamente se requería un sensor que midiera distancia entre un rango determinado, en este caso este puede medir distancias entre 20 y 800 cm. y tuviera una sensibilidad fácilmente perceptible, para facilidad al momento de realizar la práctica de laboratorio, según la hoja de datos del fabricante este valor es menor a 5 mm.

Uno de los parámetros más importante para elección de este sensor es como se dijo antes la sensibilidad, ya que durante la práctica de laboratorio se podrá mover el objeto a detectar cada cierta cantidad de milímetros y registrar la variación a la salida. Además se puede comparar con un patrón de medida, esto servirá para pensar en aplicaciones para un sensor de este tipo y para encontrarles aplicaciones a otros sensores con mejores características.

Otra razón para haber optado por él, hace referencia al tipo de salida, ya que cuenta con formato de 4 a 20 mA, una de las salidas con las que no cuentan los demás sensores que se eligieron para el módulo, la salida de corriente es una de las más usadas en la industria debido a su inmunidad ante el ruido eléctrico, y ante la variación de la impedancia en el cable, cuando se transmiten datos a grandes distancias, ya que la corriente es la misma en todo el trayecto del conductor.

### 9.1.1.2 Sensor capacitivo

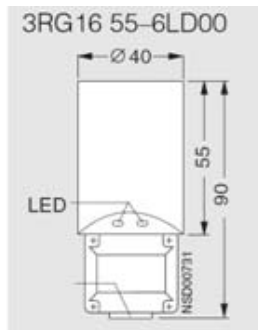
**Tabla 5.** Sensor capacitivo.

| <b>CARACTERÍSTICAS</b>              | <b>3RG 1655-6LD00</b> | <b>3RG16 55-6AC00</b> | <b>3RG16 13-0AB00</b> |
|-------------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Numero de hilos                     | 2                     | 4                     | 3                     |
| Forma                               | Ø 40 mm               | Ø 40 mm               | M18                   |
| Montaje en metal                    | A ras                 | A ras                 | A ras                 |
| Distancia de trabajo Sn             | 20 mm                 | 20 mm                 | 5 mm                  |
| Material del cuerpo                 | Material aislante     | Material aislante     | Material aislante     |
| Tensión de empleo                   | 20 a 250 Vac          | 10 a 65 Vdc           | 10 a 65 Vdc           |
| Intensidad asignada de empleo le mA | 500                   | 200                   | 200                   |
| Grado de protección                 | IP67                  | IP67                  | IP67                  |

Tomada de datos de [12].

Principalmente se optó por este sensor capacitivo (3RG 1655-6LD00) debido a que su rango de detección es relativamente grande (20 mm) comparado con el de muchos otros sensores del mismo tipo, además otra característica importante es que este dispositivo funciona con corriente alterna, tipo de alimentación que se quería tener en cuenta al momento de ofrecer variedad en el montaje del módulo.

**Figura. 47.** Dimensiones del sensor capacitivo.



Tomada de [12]. Pág. 2/247.

Con respecto a la alimentación se puede decir que este sensor se puede alimentar directamente de la línea de 110 V, por lo cual no requiere de una fuente de alimentación externa.

El sensor contiene dos tipos de salida digital NC y NA programables.

### 9.1.1.3 Sensor ultrasónico.

**Tabla 6.** Sensor Ultrasónico.

| CARACTERÍSTICAS     | 3RG 6013-3AD00               | 3RG60 14-3AD00               | 3RG63 42-3AB00               |
|---------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Zona de detección   | 20 a 130 cm                  | 80 a 600 cm                  | 6-30 cm                      |
| Forma               | M30 K1                       | Diámetro 65/M30              | 88x65x30                     |
| Material del cuerpo | Metálico, con cara plástica. | Metálico, con cara plástica. | Metálico, con cara plástica. |
| Tensión de empleo   | 20 a 30 Vdc                  | 20 a 30 Vdc                  | 18 a 35 Vdc                  |
| Cargabilidad [mA]   | 300                          | 300                          | 100                          |
| Grado de protección | IP65                         | IP65                         | IP65                         |
| Tipo de salida      | pnp/NA                       | pnp/NA                       | pnp/NA                       |

Tomada de datos de [12].

El sensor ultrasónico (3RG 6013-3AD00) seleccionado cuenta con un potenciómetro para variar el límite inferior del alcance, y otro potenciómetro para variar el límite superior.

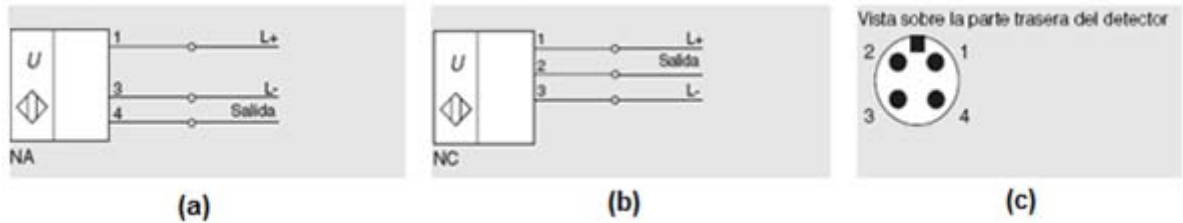
Presenta un rango de detección que permite el desarrollo de las prácticas de manera tal que se tenga un amplio rango de trabajo, para verificar diferentes puntos dentro de su zona de detección, permitiendo hacer visibles las variaciones del límite inferior y superior mediante las variaciones en los potenciómetros.

Este sensor cuenta con una conexión de tres hilos, la cual se estudió como una de las configuraciones de salida para sensores todo-nada dentro del marco teórico del presente documento.

Uno de los aspectos más importantes de los tres tipos de sensores que se analizaron anteriormente, es que el grado de protección es el más bajo para sensores industriales, o grado de protección por defecto IP65, en este caso entonces se supone que el sensor debe estar en un ambiente en el que también las condiciones no sobrepasen los límites para este nivel de protección. Esto debido quizás en este dispositivo en especial al ser ultrasónico no está en contacto con el elemento a detectar, o más bien, están a cierta distancia lo cual les permite tener este bajo grado de protección.

El diagrama de conexión para este sensor es el siguiente:

**Figura. 48.** Conexión para sensores con 3 hilos. (NA y NC) y conector M12. De 4 polos.



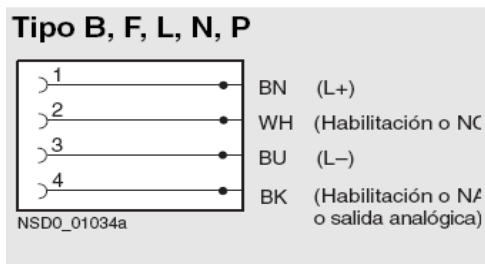
Tomada de [12] Pág. 2/37

Las configuraciones de salida se presentan para salidas NA y NC, como en el presente caso se tiene salida NA, se conectará según la configuración de la figura 48 (a).

Como se puede ver en la figura 48 (c), la cual corresponde al conector, este presenta la posibilidad de trabajar con cuatro hilos, así que si el detector con el que se estuviera trabajando tuviera cuatro hilos, podría servir también este conector, el cual en la compra de elementos es un accesorio aparte al sensor.

Se puede encontrar también el diagrama de colores de los cables internos del conector, para conectar el otro extremo del cable.

**Figura. 49.** Diagrama de colores para conexión de 4 hilos.



Tomado de [12] Pág. 2/253.

Donde:

BN: Brown. Se conecta al positivo de la fuente de alimentación.

WH: Blanco. Es la salida normalmente abierta.

BU: Azul. Se conecta al positivo de la fuente de alimentación o a tierra.

BK: Negro, es la salida normalmente abierta o salida analógica.

Esta indicación de colores se aplica también para los demás sensores, sin embargo es importante al momento de la instalación revisar las hojas de datos del dispositivo.

#### 9.1.1.4 *Sensor inductivo.*

La elección de los sensores inductivos se llevo a cabo teniendo presente que se requiere una distancia mínima entre sensores de tipo inductivo, es por esto que se han seleccionado dos sensores de este tipo.

En la siguiente tabla se muestran ejemplos de algunos de los sensores analizados, y en la segunda y tercera columna se encuentran los sensores escogidos para el módulo.

**Tabla 7.** Sensor inductivo.

| <b>CARACTERÍSTICAS</b>  | <b>3RG4014-3AG01</b>    | <b>3RG4024-0KB00</b>    | <b>3RG4011-0AG00</b>    | <b>3RG4031-6KD00</b>   |
|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|
| Numero de hilos         | 3                       | 2                       | 3                       | 2                      |
| Forma                   | M30x69                  | M 30x55                 | M 8x50                  | 4x40x120               |
| Montaje en metal        | Rasante                 | Saliente                | Rasante                 | Rasante                |
| Distancia de trabajo Sn | 10 mm                   | 15mm                    | 10 mm                   | 15 mm                  |
| Material del cuerpo     | Metal con cara plástica | Metal con cara plástica | Metal con cara plástica | Plástico               |
| Tensión de empleo       | 15 a 34 Vdc             | 20-265 Vac / 20-320 Vdc | 15-34 Vdc               | 20-265 Vac / 20-265Vdc |
| Cargabilidad [mA]       | 200                     | 300                     | 300                     | 300                    |

|                     |        |      |        |         |
|---------------------|--------|------|--------|---------|
| Grado de protección | IP65   | IP65 | IP65   | IP65    |
| Tipo de salida      | NA/pnp | NA   | NA/pnp | NA ó NC |

Tomada de datos de [12].

El rango de detección de los sensores seleccionados es bastante grande si se piensa en que estos sensores suelen tener distancias de detección muy pequeñas. Los sensores escogidos presentan un rango adecuado para realizar el análisis de sus características durante la práctica de laboratorio.

Los sensores inductivos como se ha dicho anteriormente requieren de una distancia mínima entre ellos, dependiendo de su tamaño, rango de medición, y si son blindados o no, es por esto que los sensores inductivos, serán ubicados en el módulo, a la distancia correcta, para garantizar el adecuado funcionamiento y mostrar a estudiante el ejemplo del montaje de sensores de este tipo.

Los parámetros que se deben tener en cuenta durante la instalación en metal de dos sensores inductivos y a la distancia entre ellos se presentarán en la sección correspondiente a diseño.

#### **9.1.1.5 Sensores fotoeléctricos.**

Con respecto a los sensores fotoeléctricos, la selección se basó en elegir dispositivos representativos de este tipo y con aplicaciones especiales, es por esto que se presentan en el módulo tres tipos de sensores para darle una mayor variedad.

- **Sensor fotoeléctrico tipo Barrera.**

Respecto a la elección del sensor tipo barrera (3RG 7642-0AB00 y 3RG 7642-0BG00), se quería que este tuviera una distancia de detección pequeña, pero el alcance de esta clase de sensores es bastante amplio, lo cual no quiere decir que no se puedan poner más cercanos entre sí, por ejemplo en el módulo irán ubicados emisor y receptor a una distancia de 1 metro, y se comprobará detección dentro de ese rango, pero si se llegara a necesitar un rango más amplio se podrían ubicar estos sensores a una distancia de hasta 60 m uno del otro, según lo registra su hoja de datos.

Este sensor solo puede trabajar en ambientes claros, es por esto que servirá dentro del módulo para observar los efectos que presenta cuando trabaja claros, ambientes con poca luz u oscuros.

**Tabla 8.** Sensor fotoeléctrico tipo Barrera.

| <b>CARACTERÍSTICAS</b>  | <b>3RG 7642-0AB00<br/>y<br/>3RG 7642-0BG00</b> | <b>3RG76 42-0CC00</b>          | <b>3RG 7202-6FG00<br/>y<br/>3RG 7212-6MC00</b> |
|-------------------------|--|--------------------------------|--|
| Numero de hilos         | 3  | 4                              | 2  |
| Forma                   | M18x50   | M18x55                         | 83x61x25                                       |
| Distancia de trabajo Sn | 600 cm   | 600 cm                         | 50 m   |
| Material del cuerpo     | Metálico, con cara<br>plástica                 | Metálico, con cara<br>plástica |  |
| Tensión de empleo       | 10 a 36 Vdc                                    | 10 a 30 Vdc                    | 20 hasta 300 Vac/dc                            |
| Cargabilidad [mA]       | 200  | -----                          | 3000   |
| Grado de protección     | IP67   | IP67                           | IP67   |
| Tipo de salida          | pnp, conmutación con<br>luz                    | pnp                            | Relé   |
| Ambiente de trabajo     | Claro  | Claro u oscuro                 | Claro u oscuro                                 |

Tomada de datos de [12].

Presenta conexión de 3 hilos, y se conectará de la misma forma en la que se conectó el sensor ultrasónico, basándose en el diagrama de conexiones y en el código de colores (figura. 48).

- **Sensor fotoeléctrico Auto-réflex.**

**Tabla 9.** Sensor fotoeléctrico Auto-réflex.

| CARACTERÍSTICAS         | 3RG 7620-1RH60 | 3RG7640-0CC00    | 3RG72 10-6MC00  |
|-------------------------|----------------|------------------|-----------------|
| Numero de hilos         | 4              | 4                | 2               |
| Forma                   | M18x55         | M18x55           | 83x61x25        |
| Distancia de trabajo Sn | 8 cm           | 80 cm. ajustable | 2 m             |
| Material del cuerpo     | Plástico       | Metálico         | Metálico        |
| Tensión de empleo       | 10ª 30 Vdc     | 10 a 30 Vdc      | 20 a 320 Vac/dc |
| Cargabilidad [mA]       | 150mA          | 150 mA           | 2A              |
| Grado de protección     | IP67           | IP67             | IP67            |
| Tipo de salida          | pnp/npn        | pnp              | Relé            |
| Ambiente de trabajo     | Claro u oscuro | Claro u oscuro   | Claro u oscuro  |

Tomada de datos de [12].

Una de las características más importantes para la elección de este sensor (3RG 7620-1RH60) se basó en su pequeña distancia de detección.

La siguiente característica a tener en cuenta es que este dispositivo presenta su emisor y receptor en la misma carcasa.

Se escogió también debido a que posee conexión de cuatro hilos con transistores npn y pnp, la cual servirá para establecer diferencias entre una y otra durante la

práctica y conocer también este tipo de conexión ya analizada en el cuarto capítulo del presente documento.

Mediante la polarización de alimentación puede trabajar en ambientes claros u oscuros, lo cual se analizará durante las prácticas de laboratorio.

- **Sensor fotoeléctrico Réflex**

**Tabla 10.** Sensor fotoeléctrico Réflex.

| <b>CARACTERISTICAS</b>  | <b>3RG74 01-0CH52</b>          | <b>3RG74 01-0CH61</b>          | <b>3RG70 11-0CC00</b>          |
|-------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Numero de hilos         | 4                              | 4                              | 4                              |
| Forma                   | Cubica 32x20x12                | Cubica 32x20x12                |                                |
| Distancia de trabajo Sn | 50 cm                          | 3.5 m                          | 4 m                            |
| Material del cuerpo     | Metálico, con cara<br>plástica | Metálico, con cara<br>plástica | Metálico, con cara<br>plástica |
| Tensión de empleo       | 10 a 30 Vdc                    | 10 a 30 Vdc                    | 10 a 36 Vdc                    |
| Cargabilidad [mA]       | 100 mA                         | 100 mA                         | 200 mA                         |
| Grado de protección     | IP67                           | IP67                           | IP67                           |
| Tipo de salida          | pnp                            | pnp                            | pnp                            |
| Ambiente de trabajo     | Claro u oscuro                 | Claro u oscuro                 | Claro u oscuro                 |

Tomada de datos de [12].

El Sensor fotoeléctrico Réflex (3RG74 01-0CH52) seleccionado posee la capacidad de detectar objetos transparentes, el cual es uno de los principales motivos por los que se optó por este dispositivo para hacer parte del módulo. A pesar de contener el receptor y el emisor en la misma carcasa, necesita de un accesorio (reflector especial). Este reflector no requiere de una alineación perfecta para reflejar la luz sobre el receptor del sensor, pero si existe cierto límite en esta

alineación, es por esto que durante una de las prácticas se plantea la alineación experimental de este accesorio.

El proceso de alineación entre el sensor y el accesorio reflector por sí solo no es suficiente ya que requiere de una función especial denominada Teach-in, la cual se debe efectuar durante dicho proceso, es por esta característica y por las mencionadas anteriormente que finalmente se escogió este dispositivo.

**Conectores:** En los detectores con forma cilíndrica se utilizan de forma estándar conectores de 8 mm o conectores con rosca M12 (3 ó 4 polos). Para poder unir el conector del detector con bornes o similares se requiere un prolongador (cable con contra-conector), Esa información se presenta en los catálogos de ventas.

Algunos de los sensores cuentan con conexión y desconexión rápida, como en el caso del sensor ultrasónico, el cual requiere de un conector especial de cuatro polos, este conector se puede utilizar para conexión de sensores también de 3 y 2 hilos que posean la misma forma (diámetro y muesca).

Los demás conectores que se usan vienen fijados ya al sensor, es decir no se pueden quitar o poner. Y el sensor capacitivo que funciona con alterna se conecta mediante bornes.

**Cables:** Generalmente se emplean cables flexibles resistente al aceite con cubierta exterior de poliuretano (PUR) y una longitud estándar de 2m. Si los cables van a entrar en contacto con ácidos y bases, se recomienda pedir modelos con cable de PVC. En detectores para aplicación según UL (Underwriters Laboratories Inc) y CSA (Canadian Standards Association) debe pedirse cable de PVC. Se suministran cables de longitudes o materiales distintos bajo consulta.

Los cables que se tienen para los sensores del módulo cuentan con cubierta exterior de poliuretano, que como se dijo en el párrafo anterior son los que generalmente se emplean, y no se tuvieron en cuenta los demás ya que no se requieren.

**Longitud del cable:** En detectores de proximidad los cables largos tienen los siguientes efectos negativos:

- Carga capacitiva en la salida.
- Efecto reforzado de señales perturbadoras.

No se debe sobrepasar una longitud de 300 m aunque las condiciones sean favorables.

El cable más largo de los sensores escogidos tiene una longitud de 1 m.

**Tendido de cables:** Los cables de conexión de los detectores de proximidad no deben tenderse dentro de una canaleta en paralelo a otros cables para cargas inductivas (p.ej. bobinas de contactores, electroválvulas, motores) o cables que conduzcan las corrientes de convertidores de frecuencia (variadores).

Para prevenir posibles perturbaciones, se pueden tomar las siguientes medidas:

- Distancia frente a cables perturbadores > 100 mm.
- Apantallamiento
- Desparasitar las bobinas (de contactores, relés, electroválvulas) con elementos RC o varistores.).

Estos parámetros se debieron tener en cuenta al momento del montaje para los dos sensores inductivos.

**Material de construcción del módulo (COLD ROLL):** El material que se utilizó para la construcción de la carcasa del módulo se conoce como COLD ROLL. Son láminas de acero que garantizan la resistencia necesaria para el diseño del módulo, ya que al ser portable requiere la dureza suficiente para soportar el traslado de un lugar a otro.

**Visualizador:** El visualizador que se usa para el módulo es un dispositivo que recibe la señal proveniente a la salida de un sensor y la transforma a un valor de distancia. Mediante una pantalla formada por una serie de displays 7 segmentos, se puede visualizar el valor de la correspondiente distancia medida. A continuación se nombran las características del visualizador empleado para el módulo.

**Figura. 50.** Visualizador DA5-IU-2K-V.



Tomada de [11].

- Indicador multifunción Display LED de 5 dígitos.
- Entradas Analógicas 0/4-20 mA. (Corriente) y 0/2-10 VDC (Voltaje).
- 2 valores de disparo ajustable para detección de nivel.
- 2 salidas de relé.
- Reset automático, manual o con señal externa.
- Voltaje de alimentación 90-260VAC.
- Salida auxiliar para alimentación de sensor 24 VDC IP65.

- (Panel Frontal), IP20 (Unidad Completa).
- MARCA: PEPPERL+FUCHS.

Permite conexión con sensores de salidas analógicas tanto en corriente como voltaje, y sensores de salidas todo-nada para detección del nivel alto y bajo.

Funciona como fuente de alimentación para un sensor que pueda operar a 24 VDC.

## 9.2 Diseño

Sabiendo ya que sensores contendrá el módulo y mediante la información recopilada con respecto a los tipos de sensores y en especial a los que se eligieron, se puede proceder a diseñar el módulo, el cual requiere de ciertas especificaciones en especial respecto a sus dimensiones para asegurar el buen funcionamiento de los sensores y dispositivos. En la figura 59 se observa el módulo y las partes principales que lo conforman.

### **Principales partes del módulo.**

Se denominan partes principales debido a que durante este capítulo y también durante las guías se hará referencia a ellas de forma específica.

**Bandeja de detección:** El objeto a detectar se ubica en la bandeja, en la posición deseada mediante unas reglas de medida ubicadas en ella, las cuales permiten elegir las coordenadas o distancia del objeto con respecto a un determinado sensor.

**Panel frontal:** En el panel frontal se pueden encontrar los diversos sensores, en aquellos que son montables a ras tan solo se podrá observar la cara del sensor, en aquellos no montables a ras se puede observar parte del cuerpo del sensor.

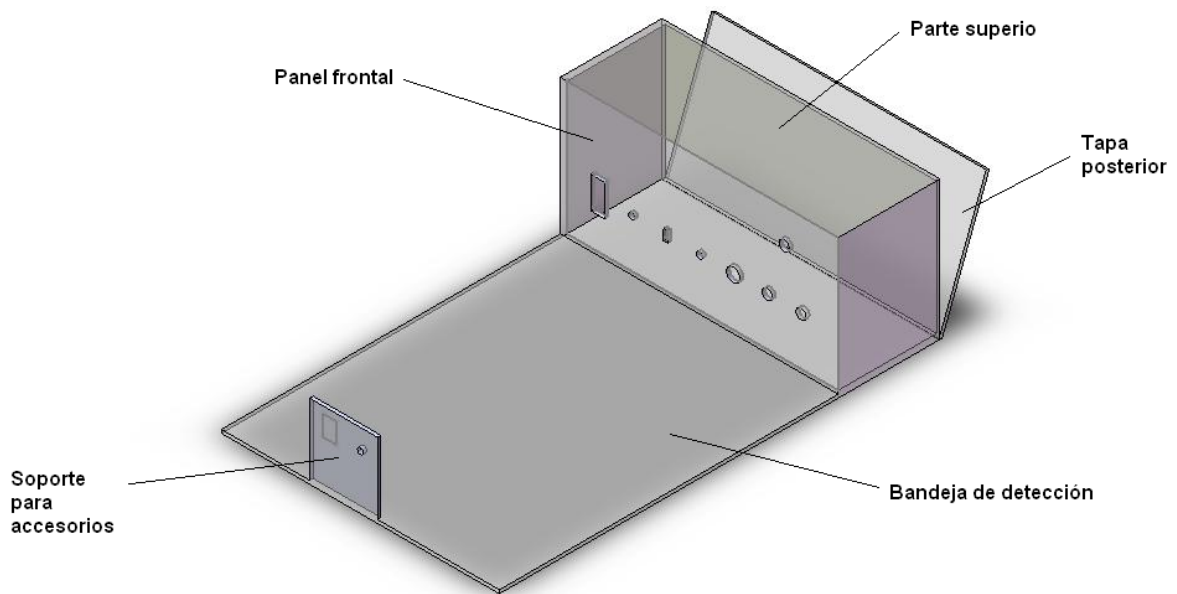
**Tapa posterior:** O simplemente tapa, este elemento permite tener acceso a las conexiones y elementos internos del módulo.

Con la tapa cerrada se puede observar el resumen de las advertencias a tener en cuenta al momento de operar el módulo.

Por las dos caras de la tapa se puede observar el diagrama de conexiones de los elementos internos del módulo. De manera que teniendo la tapa abierta no se requiera de abrir y cerrar para corroborar conexiones.

**Soporte para accesorios:** Los sensores fotoeléctricos que requieren de accesorios, o parte de su funcionamiento dependen de dos o más partes que se sitúan frente a ellos en el soporte para accesorios.

**Figura. 51.** El módulo y sus partes principales.



**Parte superior:** Esta cara del módulo sirve para ubicar los diferentes elementos de medida, como visualizadores, osciloscopios, multímetro, etc, de manera que no se use la bandeja de detección para ubicarlos e interferir con las mediciones a realizar. Contiene además los bornes para conectar la alimentación y la salida de los diferentes sensores y elementos internos del módulo.

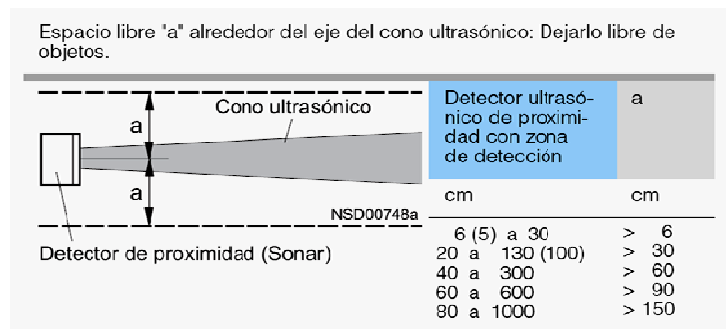
### 9.2.1 Dimensiones del módulo.

El diseño está pensado para que el módulo sea portable, y tenga las dimensiones necesarias para permitir el buen desarrollo de las guías en el laboratorio, además que sea didáctico, es decir que tenga facilidad de acceso a cada uno de sus componentes. A continuación se detallan las dimensiones del módulo.

#### Altura del módulo (40 cm).

Básicamente la altura depende de las dimensiones que se tengan que respetar en el módulo con respecto a las superficies del banco de trabajo, por lo tanto, si por lo menos uno de los sensores requiere de una distancia mínima mayor que la de los demás, esta distancia define una de las distancias mínimas claves para la construcción del módulo.

**Figura. 52.** Distancia del sensor ultrasónico con respecto a la superficie.



Tomada de [12]. Pág. 2/5.

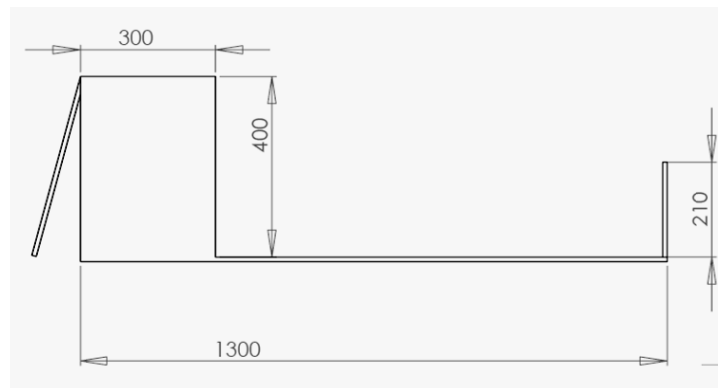
El sensor que determinó en este caso la máxima altura, es el de tipo ultrasónico, ya que según las especificaciones dependiendo de su rango (20 a 130 cm) requiere de una distancia a cualquier superficie de más de 30 cm (Figura 59).

### **Profundidad del módulo (50 cm).**

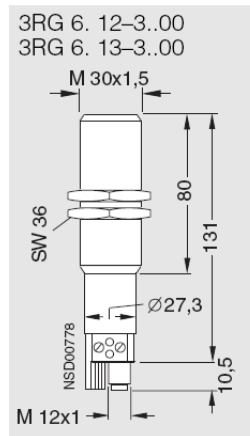
El compartimiento en el cual se encuentran alojados los sensores cuenta con una profundidad de 30 cm figura 60, la cual depende de las dimensiones del sensor más largo.

De nuevo el sensor que definió esta profundidad es el de tipo ultrasónico, el cual posee las dimensiones mostradas en la figura 61, además de las dimensiones del sensor se tuvo en cuenta el conector, ya que este también requiere de cierto espacio adicional para no fracturar el cable e incurrir en daños.

**Figura. 53.** Vista lateral del módulo. (Dimensiones en mm).



**Figura. 54.** Dimensiones del sensor ultrasónico.



Tomada de [12] Pág. 2/37.

#### **Ancho del módulo (80 cm).**

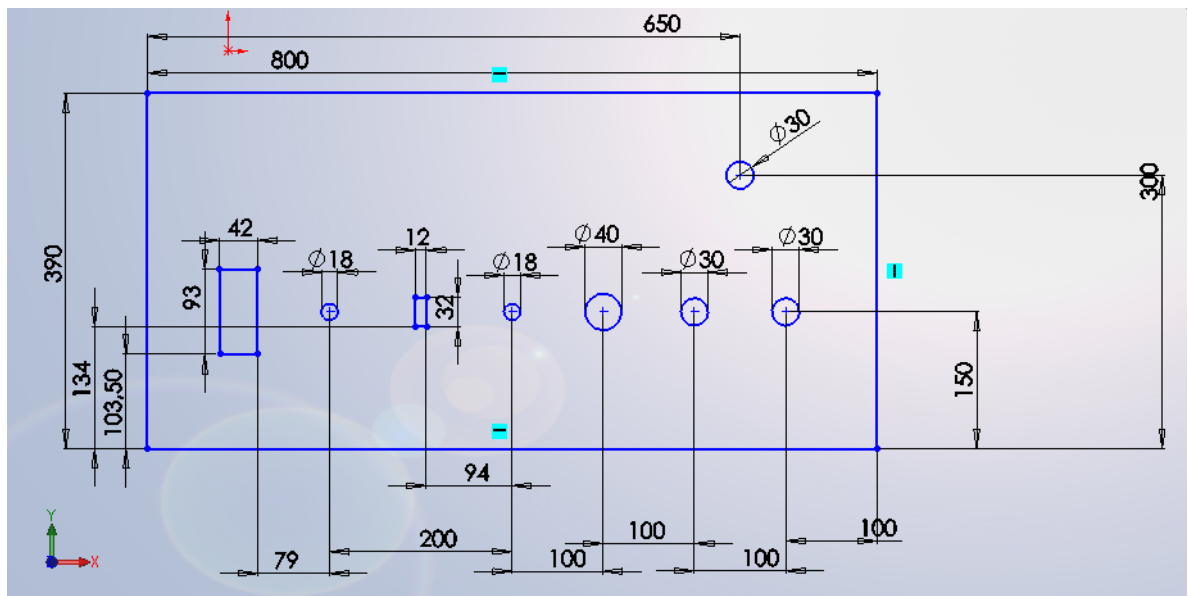
Este ancho depende básicamente de la cantidad de dispositivos que se utilizan, y de la distancia que se requiera respetar entre los diferentes sensores del módulo.

**Primer sensor:** El primer sensor (mas a la izquierda), es el de tipo laser. Con respecto a la distancia de este medidor a las superficies no existen mayores restricciones al momento del montaje. Se ubica cómo primer elemento para facilitar el desplazamiento del objeto a detectar.

**Segundo sensor:** El siguiente sensor o sensor número 2, es de tipo fotoeléctrico específicamente réflex, con respecto a este sensor tampoco hay restricciones con respecto a las superficies, no obstante se deja una distancia de 79 mm con respecto al sensor de distancia de 8 metros (primer sensor), sin embargo se pide en las guías comprobar que este elemento no cause interferencias al sensor, ya que según la figura 63 debería respetarse según la tabla 11 una distancia a de 250 mm, entre dispositivos del mismo tipo, pero debido a que no son de la misma clase, se plantea como prueba de laboratorio establecer la influencia de un

dispositivo sobre el otro. Las distancias de la tabla 11 se establecen para sensores SIEMENS, pero basados en la distancia de detección se extrapola a sensores de otro fabricante, en este caso de PEPPERL+FUCHS, basando la decisión en el rango del sensor de distancia.

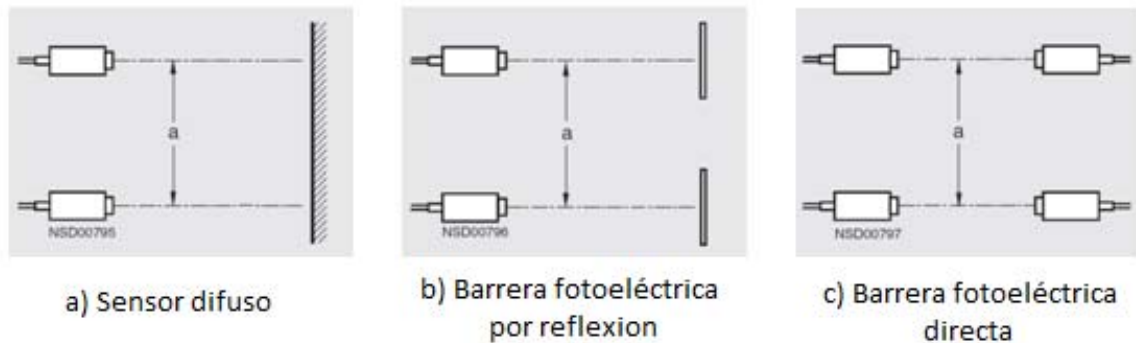
**Figura. 55.** Vista frontal del módulo.



La tabla 12 muestra la distancia de la cota **a** según el tipo de sensor que se tenga y según la clasificación que se tiene. Para saber qué tipo de sensor es (la referencia que asigna el fabricante), se debe buscar en el catálogo y mirar la distancia de detección, según esto se tendrá el dato adecuado extraído de la tabla. Por ejemplo según la distancia de detección se encontró dentro del catálogo que el sensor estaba clasificado como M18, y debido a esto se encontró el valor en la tabla 12.

**Tercer sensor:** Sensor de tipo réflex con necesidad de un espejo ubicado frente a él de la manera más alineada posible, esta es la característica de montaje más relevante con respecto a sensores fotoeléctricos con este tipo de accesorios.

**Figura. 56** Distancia mínima entre sensores fotoeléctricos.



Tomada de [12] Pág. 2/71.

**Tabla 11.** Distancia a según dimensiones de los catálogos de venta para sensores fotoeléctricos SIEMENS.

| Detectores fotoeléctricos de proximidad | Cota a               |
|---|----------------------|
| D4/D5                                   | 50 mm                |
| M12                                     | 250 mm               |
| M18                                     | 250 mm               |
| K31                                     | 750 mm               |
| K80                                     | 500 mm               |
| L18(Barrera a láser)                    | 150 mm <sup>1)</sup> |
| L50(Sensor difuso a láser)              | 30 mm                |
| L50(Barrera a láser)                    | 80 mm                |
| C50(Sensor cromático)                   | 500 mm               |

<sup>1)</sup> Enfocado a 50 m

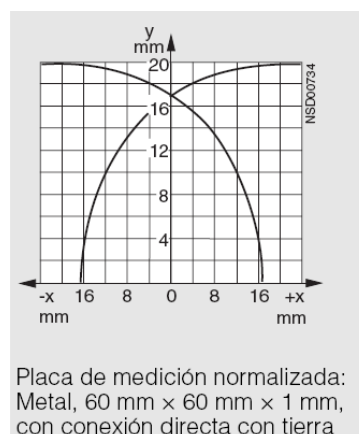
Tomada de [12] Pág. 2/71

Existe una distancia entre este y el segundo sensor de 106 mm, la cual es más que suficiente para evitar interferencias, debido a que la distancia que se especifica según la tabla es de 50 mm, sin embargo en las guías se propone analizar el comportamiento de ambos sensores operando de manera simultánea.

**Cuarto Sensor:** También sensor fotoeléctrico, en este caso tipo barrera, igual que en caso anterior de dos partes que se denominan emisor y receptor, como sus nombres lo indican, la función de cada uno de ellos es clara. Pueden ir ubicados del lado que se quiera en el módulo, pero en este caso el emisor ira dentro del cajón de sensores, y receptor ubicado justo frente a él y al lado del espejo del sensor anterior.

**Quinto sensor:** Este sensor tiene pocas restricciones con respecto a su montaje debido a que es el único de tipo capacitivo del módulo, a que es blindado y su campo es concentrado, es por esto que solo requiere de una distancia 24 mm a lado y lado del centro de su cara, según como muestra la figura 64. La distancia que se deja en el módulo de este sensor con respecto a la superficie es de 150 mm, la cual entonces de acuerdo a los datos suministrados por el fabricante es más que suficiente para asegurar el correcto funcionamiento.

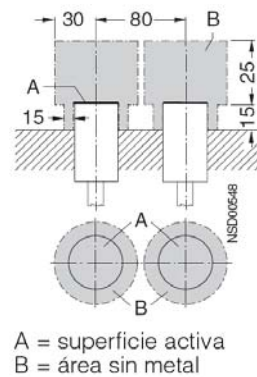
**Figura. 57.** Zona de detección del sensor capacitivo.



Tomada de [12] Pág. 2/247.

**Sexto Sensor:** El sensor inductivo no blindado si posee una distancia mínima entre la superficie metálica y su cuerpo, para evitar interferencias debido a que detecta metales. Esta distancia garantiza la adecuada detección. Además hay que respetar una distancia entre sensores inductivos.

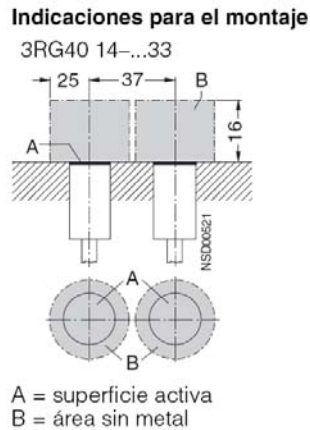
**Figura. 58.** Distancia entre sensores inductivos 3RG4024-0KB00 SIEMENS.



Tomada de [12] Pág. 2/273.

Debido principalmente a los sensores inductivos se optó por esta altura para todos los demás sensores, tal que existiera alineación entre ellos y respetando las distancias a la superficie de todos los sensores. Por lo tanto se puede decir que este sensor inductivo estableció uno de las dimensiones mínimas de diseño para el módulo.

**Figura. 59.** Distancia entre sensores inductivos 3RG4014-3AG01 SIEMENS.



Tomada de [12] Pág. 2/204.

La distancia con respecto a la superficie asignada en el módulo es de 150 mm, la cual es más que suficiente para evitar interferencias con el material de dicha superficie.

**Séptimo sensor:** Sensor inductivo blindado. Se optó de nuevo por otro sensor inductivo para hacer notar la distancia entre sensores del mismo tipo. Aunque no es igual al anterior sensor, debido a que este es montable a ras figura 66, puede ocasionar interferencias en el campo de detección, del sensor anterior, o aun mas, ser interferido por el sensor anterior ya que al ser blindado su campo electromagnético es mucho más concentrado, por lo tanto la máxima distancia de este sensor al sexto será tomada en cuenta con respecto no a sus especificaciones sino a las del anterior.

#### **Advertencias para operar el módulo.**

- Abrir bajo supervisión del docente, o con su autorización.
- No forzar desconexión mientras los elementos estén encendidos.

- Usar calzado adecuado para evitar descargas eléctricas, ya que existen elementos que funcionan a más de 110 V, directamente de la línea.
- No derramar líquidos en el exterior ni en el interior del módulo. Esto Podría causar corto circuitos, y fallos irreversibles a los dispositivos.

### **Características visuales del módulo.**

El color del módulo se acordó gris, esto permite tener contraste entre los esquemáticos que se mencionaron anteriormente, y los diferentes mensajes de advertencias para su utilización. Además es el color de muchos de los elementos que se encuentran dentro de la industria, es necesario emplear pintura electrostática, para aislar el metal.

## **10. INFORME DE RESULTADOS**

### **10.1 Creación de las guías de laboratorio.**

Las guías se presentan en ANEXO C, en este capítulo solo se presenta una introducción correspondiente a cada guía.

Para operar cualquiera de los dispositivos adquiridos, fue necesario cumplir con la mínima condición de leer las hojas de datos de cada uno de los sensores (las cuales son en muchos casos suficientes para la manipulación de estos elementos), con esto se sabe que precauciones se deben tener al momento de operarlos, de qué manera se pueden conectar a las fuentes de alimentación, y como se conecta la carga a la salida.

Se puso en funcionamiento cada sensor y se verificó que cumple por lo menos con el rango especificado en su hoja de datos, es decir que frente a determinado condición, varía su salida, en los valores que especifica el fabricante, ya que como se dijo al principio, las condiciones ambientales producen pequeñas variaciones en su desempeño con respecto a las que se especifican en los catálogos.

En base a las características de cada sensor se han propuesto tres guías para poder trabajar con el módulo de sensores en el laboratorio de la asignatura instrumentación electrónica, que servirán para afianzar conocimientos con respecto a elementos de medición de distancia y detección de proximidad.

El contenido de las guías se realizo teniendo en cuenta los conocimientos previos acerca las guías de laboratorio realizadas a lo largo de la carrera: A continuación se muestra el contenido general de las guías realizadas.

## 10.2 Contenido de las guías para el módulo didáctico de sensores.

- Título.
- Introducción.
- Objetivos.
- Marco teórico.
- Conocimientos previos.
- Procedimiento.
- Preguntas.
- Referencias bibliográficas.
- Conclusiones.

**Título:** El título presenta la idea general de las guías mediante un nombre adecuado.

**Introducción:** Presenta un preámbulo del contenido de la guía, dando a conocer aspectos importantes acerca de cada punto de la misma y de aquellas características a tener en cuenta con respecto al tema tratado. Y hace referencia a aspectos que despierten interés en el estudiante.

**Objetivos:** Los objetivos se basan en los conocimientos que se desea que el estudiante adquiera durante la práctica, Además del tema a tratar, los objetivos de las guías se diferencian dependiendo del tipo de sensor analizado.

**Marco teórico:** El marco teórico presenta un resumen de los temas de la guía, basado no solo en los libros sino en los documentos técnicos de los dispositivos a emplear en la práctica. Los temas se referencian a su contenido de origen para que el estudiante pueda profundizar sobre el tema.

**Conocimientos previos:** Es necesario que el estudiante conozca antes de cada guía, algunos aspectos relevantes, con respecto al tema, y que sepa manejar ciertos elementos de laboratorio, para que pueda sacar el mayor provecho de la práctica. Sin embargo gran parte del conocimiento previo se encuentra contenido en el marco teórico y en las referencias citadas.

**Procedimiento:** Basados en la documentación respecto a los sensores se han creado una serie de pasos a realizar que permite efectuar el análisis de los elementos, en donde se puedan observar las características, similitudes y diferencias entre sensores.

**Preguntas:** En el transcurso del procedimiento se presentan preguntas que ayudan a afianzar los conocimientos obtenidos durante algún punto de la guía.

**Referencias:** Cada una de las referencias citadas en el marco teórico serán enumeradas, y además se presentarán otras más que podrían servir para mayor documentación con respecto a los temas.

**Conclusiones:** Espacio para que el estudiante presente los resultados en cuanto a los conocimientos que adquirió durante la realización de la práctica, se debe concluir en base a los objetivos, sin embargo cualquier conclusión, recomendación o comentario es viable.

### **10.3 Contenido específico de cada guía.**

**Primera guía.** Esta guía se titula “reconocimiento del módulo didáctico de sensores”.

En esta guía se encuentra la parte correspondiente a manejo de sensores industriales, y la conexión entre estos y otros dispositivos, teniendo en cuenta, la distancia entre dispositivos, los tipos de conectores y los cables a emplear.

Los pasos se plantean para que el estudiante pueda conocer cada uno de los elementos que conforman el banco de trabajo tanto interna como externamente, sin necesariamente saber de manera específica de que elementos se trata (mientras más conocimiento previo se obtendrá mayor provecho de la práctica).

Cuando el estudiante este seguro que el módulo este correctamente conectado podrá energizarlo y mediante los materiales contenidos en la *caja de materiales para el módulo*, realizará una pequeña prueba de detección acercando ciertos materiales a cada una de las caras de los sensores, para observar lo que ocurre y para tener una idea de la siguiente práctica.

**Segunda guía.** Esta se titula “caracterización de sensores capacitivos e inductivos”.

Para esta guía se proponen analizar características generales en elementos de medición y específicas de los sensores capacitivos e inductivos. En base a los pasos realizados y a los obtenidos se realizan los cálculos correspondientes a ciertos parámetros que permiten caracterizar y conocer el funcionamiento del sensor frente a determinadas condiciones de desempeño, además en esta guía se pueden hallar diferencias y similitudes entre los valores que entrega el fabricante y los obtenidos de manera experimental.

Los cálculos realizados deberán ser registrados en tablas y en algunos casos realizar curvas para de esta forma llevar a cabo un análisis más detallado de las características de los sensores.

Existen ciertas similitudes que serán observadas entre los dos sensores en análisis, lo cual puede hacer que los cálculos de solo uno de ellos puedan cubrir los objetivos propuestos para dicha práctica, sin embargo solo el docente podrá definir los límites de la guía.

De igual manera que el docente puede optar por omitir ciertos pasos de la guía, también puede optar por agregar pasos que considere de importancia con respecto al tema.

**Tercera guía.** Esta se titula “caracterización de sensores fotoeléctricos y ultrasónicos”.

Esta guía pretende conocer características específicas de los sensores ultrasónicos y fotoeléctricos, características que se basan en su principio de funcionamiento y en lo que los convierte en elementos de importancia en ciertos procesos industriales.

Nuevamente se observaran diferencias y se tendrá que especificar las diferencias y similitudes encontradas con respecto a los dispositivos empleados en esta práctica.

Se plantea de nuevo el cálculo de las características generales, pero en este caso solo para el sensor laser, dividiendo el rango en intervalos de 10 cm y asignando a cada grupo de trabajo un rango de manera que se pueda cubrir la longitud del banco de trabajo.

En base a los datos obtenidos e igual que en la guía anterior se propone al estudiante realizar cálculos y graficas con el fin de obtener un análisis detallado del sensor.

## **11. CONCLUSIONES.**

### **11.1 Conclusiones objetivo general.**

La base para la construcción de un módulo didáctico de sensores como en el presente proyecto, o la aplicación de estos dispositivos en la industria requiere cómo mínimo del estudio de sus hojas de datos, las cuales ilustran la manera de operarlos y la manera correcta de instalarlos, entre otros. Sin embargo mientras más conocimiento se tenga acerca de las características del sensor, en especial en lo referente a su principio de funcionamiento, se podrá dar un mejor manejo en las diferentes aplicaciones. Es por esto que la documentación de los sensores no solo se enfocó a los aspectos técnicos, sino a la parte del funcionamiento interno del dispositivo, de tal manera que al final se contara con un producto mucho más completo que permita entender y observar con mayor profundidad la forma en la que operan los dispositivos empleados para detección y medición de distancia en la industria.

El módulo como herramienta para prácticas de laboratorio requiere de guías, las cuales deben estar también basadas en la documentación antes mencionada, de tal forma que actúen como complemento para poder sacar el mayor el provecho durante el tiempo disponible para la práctica.

### **11.2 conclusiones objetivos específicos.**

- Se encontró que un sensor industrial de cualquier tipo se diferencia de un sensor común, básicamente, en que cumple con ciertas normas establecidas por organismos internacionales como por ejemplo la IEC 60529, como se mostro en la tabla 1 del presente documento, las cuales están basadas en las características de los entornos que se presentan en los ambientes industriales,

de tal manera que el nivel de protección garantice el buen funcionamiento en determinadas aplicaciones. Algunos sensores no requieren un nivel de protección tan alto, no solo por que el ambiente en el que sea más común encontrarlos sea menos agresivo que otro, sino que debido a que son inmunes por si solos a ciertos factores pueden desempeñarse de manera correcta en algunos entornos en los que otros sensores con la misma protección no podrían, un ejemplo de esto es el sensor inductivo, el cual no se ve afectado, por factores como el polvo, mientras que un sensor fotoeléctrico o un capacitivo sí podría verse afectado.

Durante la documentación se encontraron diferencias marcadas entre sensores no solo con respecto al principio de funcionamiento, por ejemplo, los sensores fotoeléctricos y ultrasónicos tienen alcances que pueden llegar hasta varios metros, mientras que los de tipo capacitivo e inductivo solo alcanzan unos pocos centímetros.

Los detectores de tipo capacitivo son de gran utilidad, debido a que como se encontró literalmente según algunos autores pueden ver a través de algunos materiales, esto permite la detección de ciertos componentes contenidos en recipientes. Para esto sin embargo es necesario conocer ciertos parámetros, tales como que un material cuya constante dieléctrica sea alta debe estar contenido en un recipiente de material con constante dieléctrica baja. Por ejemplo, el alcohol ( $\epsilon=25.8$ ) se podría detectar a través del vidrio ( $\epsilon=3.7-10$ ) mientras que la harina no ( $\epsilon =1.5 - 1.7$ ).

A pesar de que todos los sensores estudiados en el presente trabajo pueden detectar metales, el más recomendado para dicha aplicación es el detector inductivo, debido a que tanto sus características con respecto a ambientes con polvo y suciedad como su costo lo hace la mejor alternativa.

El sensor ultrasónico cuando es utilizado para detectar objetos lisos requiere que la superficie de dicho objeto no se encuentre a una desviación mayor a 3 grados, sin embargo en aplicaciones con superficies irregulares, tales como detección de nivel en tanques empleados para llenado de semillas o granos, no se presenta este inconveniente; aunque es recomendable que cuando se utilice en este tipo de aplicaciones en las que la superficie no es totalmente horizontal, se realicen mediciones experimentales del valor del nivel.

En el sensor fotoeléctrico se usan lentes para enfocar la luz, es por esto que la distancia entre los dispositivos fotoeléctricos y las superficies no requiere de dimensiones tan grandes como en el caso de los sensores de ultrasonido, y algunos inductivos y capacitivos en especial los no blindados, sin embargo mientras más angosto sea el rayo de luz, será más difícil enfocarlos, en aquellos casos en los que se trabaje con dispositivos con emisor y receptor separados o con accesorios como reflectores. El punto luminoso para un sensor con un campo de visión de  $1,5^\circ$  es de entre 7,6 cm (3 pulgadas) a 3,05 m (10 pies), lo cual dificulta mucho la alineación.

En resumen, la documentación se encontraron ciertas ventajas y desventajas con respecto a la utilización de determinado sensor en alguna aplicación, notándose en algunos casos que se basan en datos experimentales, tomados directamente de la aplicación industrial, mientras que en otros casos pareciera más bien que el fabricante ha desarrollado métodos basados en los principios de funcionamiento para demostrar la viabilidad del dispositivo en determinada función.

- Al momento de realizar el diseño del módulo se encontró que es necesario cumplir con ciertas especificaciones con respecto a los dispositivos a instalar dentro del montaje, las cuales tienen que ver con la distancia de los sensores a las superficies y la separación entre ellos en especial cuando son del mismo

tipo. Durante la recopilación de datos con respecto a los dispositivos según sus fabricantes, se encontró que muchos de ellos especifican estas distancias, sin embargo existen documentos que generalizan estas especificaciones según reglas basadas en dimensiones proporcionales a las dimensiones del sensor en especial en el diámetro o medida de la cara de detección. Se recomienda revisar siempre que sea posible las indicaciones del fabricante, ya que pueden ser más específicas y acertadas.

- Durante la realización de las guías se tuvieron en cuenta los detalles tanto generales como específicos de los sensores, esto con el fin de dar a conocer mediante cada una, aspectos relevantes con respecto a la medición y la detección de objetos en los procesos industriales. Cada guía permite determinar diferencias y similitudes entre dispositivos, por tanto se organizaron de tal manera que se analizará después de la primera práctica, sensores con características similares, donde la segunda práctica analiza a los de tipo capacitivo e inductivo y la siguiente a los de tipo ultrasónico y fotoeléctrico.

La ubicación de cada sensor tomada para la construcción del módulo y las conexiones no solo se tuvo en cuenta al momento del diseño sino que además hace parte de la primera guía, ya que el montaje es uno de los parámetros que garantiza el correcto funcionamiento de los dispositivos, recomendación que se encontró en mucha de la bibliografía utilizada en el presente trabajo.

Las características específicas de cada tipo de sensor permiten que en cada práctica se conozcan aplicaciones en las que determinado sensor podría desempeñarse mejor que cualquiera de otro tipo, cabe resaltar que las diferencias en las aplicaciones de los sensores o en sus características específicas, es uno de los temas que despertó más interés durante la realización del proyecto en general y en base a esto se toman en cuenta y se han mencionado durante las guías.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Allen Bradley. Fundamentos del sensado o detección de presencia. Copyright 1999 Rocwell internacional. Publicación FSM-900las. Enero 2000. (manual de capacitación).
- [2] Benavides L., Villamizar R. Transductores de proximidad. Trabajo de grado. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Escuela ingeniería eléctrica, electrónica y telecomunicaciones, 2001.
- [3] Creus A. Instrumentación Industrial 6° ed. AlfaOmega (Boixerau editores) Marcombo. España 1999.
- [4] DUFOUR I, An original approach to eddy current problems a complex electrical image concept. En: IEEE. Transactions on magnetic; Vol. 32 No. 2 (Marzo de 1996).
- [5] Finn A, Fisica, Fundamentos cuánticos y estadísticos, Wilmington: Addison Wesley Iberoamericana, S.A. Vol III, 1976
- [6] HAYT W, Teoría Electromagnetica Mc Graw Hill, Mexico, 5 Ed. 1991. Cap5.
- [7] Ing. José Alejandro Amaya Palacio. Diapositivas Primer Curso: SENSORES\_2007. INSTRUMENTACIÓN ELECTRÓNICA
- [8] Mandado E., Marcos J., Fernández C., Armesto J., Perez S. Autómatas programables entorno y aplicaciones. 1ª ed. España: THOMSOM, 2006.

- [9] Mayne. J. Ingeniero de aplicaciones SILICA. Sensores Acondicionadores Y Procesadores de señal. Rev.2003.
- [10] Pepperl+Fuchs GmbH, Lilienthalstraße 200, 68307 Mannheim, Germany. Todos los derechos reservados [citado 5 de mayo de 2010; 14:26]. Disponible en internet:  
[http://www.pepperl-fuchs.es/cps/rde/xchg/spain/hs.xsl/goto-selector.htm/papp/Selektor/selector/gui/start\\_selector.kly?lang=ESN&prod\\_id=43506&cid=7&rdsessid=SID-B3D19533-8BEC689B&rdeCOQ=SID-4EB41455-2355BC0F](http://www.pepperl-fuchs.es/cps/rde/xchg/spain/hs.xsl/goto-selector.htm/papp/Selektor/selector/gui/start_selector.kly?lang=ESN&prod_id=43506&cid=7&rdsessid=SID-B3D19533-8BEC689B&rdeCOQ=SID-4EB41455-2355BC0F).
- [11] Pepperl+Fuchs [citado 10 de mayo de 2010; 17:30] Disponible en internet:  
<http://www.pepperl-fuchs.es/cps/rde/xchg/spain/hs.xsl/21.htm>
- [12] SIEMENS AG 2008. Catalogo FS 10.2008.

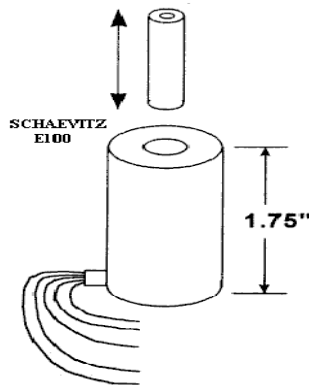
## ANEXOS.

### ANEXO A OTROS TIPOS DE SENSORES INDUCTIVOS.

#### LVDT.

Un LVDT es un dispositivo electromecánico utilizado para medir desplazamientos angulares que consiste de dos componentes: Un cuerpo hueco cilíndrico que contiene dos bobinados secundarios idénticos los cuales están posicionados en ambos lados del bobinado central primario y un núcleo de ferrita cilíndrico se mueve libre longitudinalmente dentro de la bobina. Los secundarios típicamente están conectados en serie en oposición uno de otro.

**Figura. 60** LVDT.

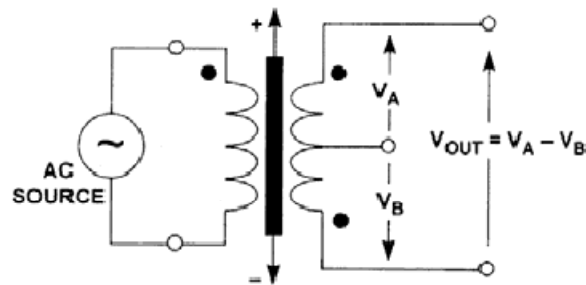


Tomada de [9] Pág. 26.

Sencillamente, los LVDT son transformadores con núcleo móvil. Aplicando una señal alterna de excitación al bobinado del primario, genera un campo magnético que se acopla a los bobinados del secundario a través del núcleo de ferrita móvil,

por esto se inducen voltajes en los secundarios. Cuando el núcleo está centrado entre los dos secundarios, los voltajes inducidos en ambos son iguales y puesto que están conectados en serie en oposición, el voltaje final será cero. Si el núcleo se mueve en dirección del secundario 1, el voltaje incrementa, y el voltaje del secundario 2 decrece; de este modo el voltaje neto final  $V_1 - V_2$  será de la misma polaridad (en fase) como el de referencia. Si el núcleo se mueve en dirección opuesta,  $V_1 - V_2$  será de polaridad opuesta ( $180^\circ$  de desfase).

**Figura. 61** Bobinado del LVDT.



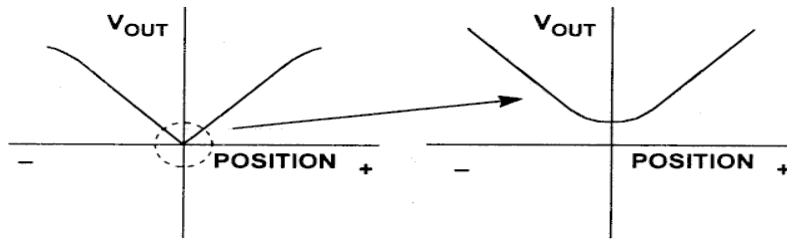
Tomada de [9] Pág. 26.

De este modo, como el núcleo de ferrita se mueve a lo largo de sus ejes dentro del LVDT, el voltaje de salida empieza con una polaridad, decrece completamente a cero, después incrementa con polaridad opuesta, todo de una manera continua y suave.

Los LVDT típicamente están diseñados para dar un voltaje de salida lineal alrededor de cero (dentro del  $\pm 0.25\%$  sobre un rango lineal especificado de recorrido). Para una selección de LVDT típica, el rango lineal nominal puede ser desde  $\pm 0.05$  pulgadas hasta  $\pm 10$  pulgadas, con cuerpo correspondiente a longitudes desde 1 pulgada hasta 30 pulgadas. Aunque los LVDT son robustos y exactos, solo producen salidas de bajo voltaje (la sensibilidad está entre 6.3 y 0.08

mV por voltio de excitación por milímetro de desplazamiento) y por lo tanto necesitan mucho cuidado al realizar la amplificación.

**Figura. 62.** Voltaje de salida con respecto a la posición.



Tomada de [9] Pág. 26.

### **Acondicionamiento de Señal de los LVDT.**

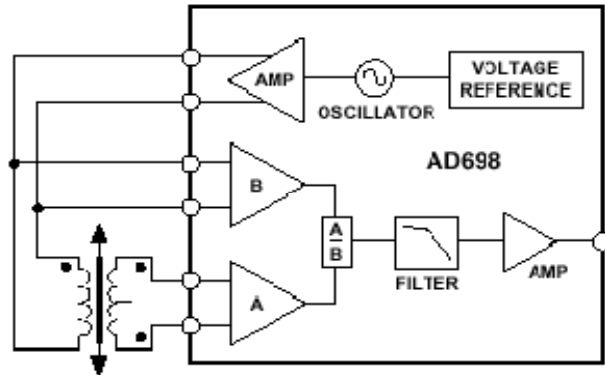
La mayoría de tareas de un acondicionador de señal LVDT, se dedican a transformar las dos señales ac desfasadas  $180^\circ$  a un simple voltaje dc que representa la posición longitudinal. Por lo tanto se requiere alguna forma de demodulación para acondicionar la conversión de ac a dc. El modo más común utilizado para acondicionar la señal LVDT es la técnica de demodulación síncrona.

En demodulación síncrona, la excitación del primario sirve como referencia para el demodulador. El demodulador rectifica a media onda la señal ac., después se filtra con pasa bajos para producir una salida dc. Cuya magnitud indica el movimiento (posición) lejos de la posición central y cuyo signo indica la dirección.

El método de conversión de las señales LVDT, utiliza un número elevado de componentes discretos e integrados, como se muestra a continuación, donde tiene cuatro secciones: oscilador/excitador, amplificador de entrada, demodulador y filtro

pasa-bajos. Con la introducción del AD698, *Analog Devices* da soporte a las aplicaciones de acondicionamiento de señal de los LVDT. Es un completo convertidor monolítico de LVDT a salida en voltaje en continua.

**Figura. 63** Solución de acondicionador de señal LVDT con el AD698.



Tomada de [9] Pág. 27.

### **Inductosyn Lineal.**

El sistema Inductosyn Lineal consiste en dos partes acopladas magnéticamente. Por una parte, la regla, está fija a lo largo del eje de medición (por ejemplo, la bancada de una máquina herramienta). Por otra parte, el deslizador, está colocado de modo que se pueda mover a lo largo de la regla y está asociado con el dispositivo que va a ser posicionado (por ejemplo, el transportador de una máquina herramienta).

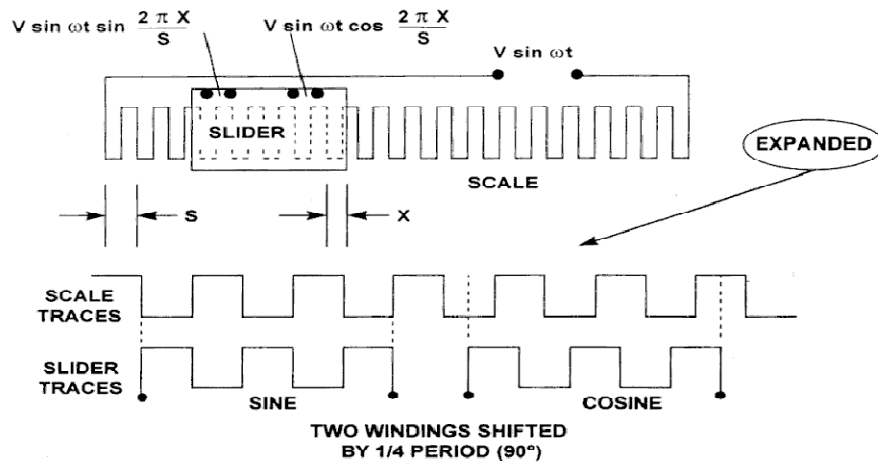
La regla consiste en una base de material tal como el acero, el acero inoxidable, el aluminio, etc, cubierto por una capa aislante. Pegado a la base está un circuito impreso formando una forma de onda rectangular continua. De hecho la regla está hecha generalmente de secciones de 10 pulgadas que se unen una a continuación

de la otra hasta llegar a la longitud a medir. El paso cíclico de la forma de onda tiene generalmente 0.1 pulgada, 0.2 pulgadas o 2 mm.

El deslizador tiene normalmente 4 pulgadas de largo y tiene dos pistas de circuito impreso idénticas separadas en la superficie que se encara con la regla. Estas dos pistas están formadas por una forma de onda exactamente igual al cíclico que la regla, pero una pista está desfasada 1/4 de paso cíclico de la otra, 90°.

El deslizador y la regla están separados por una brecha cercana a las 0.005 pulgadas y está situada una pantalla electrostática situada entre ellas. Un diagrama de la relación entre el deslizador y la regla se muestra en la figura 71.

**Figura. 64** Relación entre el deslizador y la regla del Inductosyn Lineal.



Tomada de [9] Pág. 28.

Si a la regla se le aplica un voltaje AC (que es normalmente entre 5 kHz y 10 kHz)  $V \text{ sen } \omega t$ , entonces la salida del bobinado del deslizador será:

$$V \text{ sen } \omega t \text{ sen } (2\pi X/S) \text{ y } V \text{ sen } \omega t \text{ cos } (2\pi X/S)$$

Donde  $X$  es el desplazamiento lineal del deslizador y  $S$  es la longitud cíclica.

## ANEXO B CARACTERÍSTICAS GENERALES EN ELEMENTOS DE MEDICIÓN.

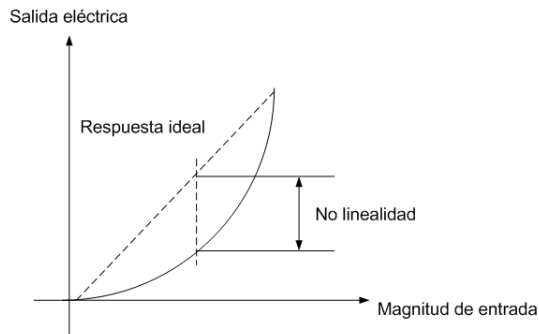
### CARACTERÍSTICAS ESTÁTICAS.

Cuando un sensor está sometido a condiciones de variación lenta o estable en la magnitud de entrada, condiciones ambientales constantes y ausencia de condiciones externas fuertes, tales como golpes, vibraciones, aceleraciones (a no ser que sea esta la magnitud a medir). A continuación se definen algunas de las características más importantes.

**Linealidad:** Se refiere a la relación entrada-salida, para que exista linealidad esta relación debería aproximarse a una línea recta. En donde existe por ende una relación de proporcionalidad.

La no linealidad (concepto opuesto a la linealidad), es la máxima desviación de la curva de calibración (es un tramo ascendente o descendente) respecto de la línea de la línea recta que une los puntos extremos correspondientes al 0% y al 100 % del valor fondo de escala. Se expresa en porcentaje del valor a fondo de escala, siempre que el cero de la curva de calibración se haga coincidir con el origen de coordenadas. [3] Pág. 11

**Figura. 65** Determinación de la no linealidad de la respuesta de un sensor.



Tomada de [8] Pág. 500.

**Rango o campo de medida:** Este término se refiere, al conjunto de valores que pueden ser medidos entre el límite inferior y el superior de medición del sensor, supóngase por ejemplo que determinado sensor mide distancia entre 20 cm y 80 cm, por lo tanto el campo de medida de este sensor es de 20-80 cm. Al rango o campo de medida se asocia el concepto de rangeabilidad o dinámica de medida, que hace referencia al cociente del límite superior e inferior, que para el presente ejemplo es de  $80/20=4$ . [3] Pág. 2.

**Alcance o Span:** Es la diferencia entre el límite superior y el inferior del campo de medida. Para el ejemplo anterior, el span es de  $80 \text{ cm} - 20 \text{ cm} = 60 \text{ cm}$ . [3]. Pág. 3.

**Precisión:** Este término hace referencia a la tolerancia máxima que tiene el sensor a arrojar valores próximos al valor real. Define los límites de errores cometidos, cuando el elemento es usado bajo condiciones de operación normal. Este valor es admisible durante un periodo de tiempo determinado (por ejemplo un año). Existen varias formas para expresar la precisión:

a) En porcentaje del alcance.

$$\text{Rango de precisión} = V_{\text{real}} \pm \frac{(V_{\text{real}} \pm A) * (\%P)}{100} \quad (5.1)$$

Donde:

A= es el alcance.

P= precisión.

b) Usando las mismas unidades de salida.

Es decir por ejemplo si se tiene un valor de precisión de  $\pm P$ , por tanto cualquier valor de medida tendrá un rango de precisión de:

$$\text{Rango de precisión} = (V_{real} \pm P) \quad (5.2)$$

c) En porcentaje de la medición efectuada. Entonces:

$$\text{Rango de precisión} = V_{real} \pm \frac{(V_{real}) * (\%P)}{100} \quad (5.3)$$

Por lo tanto este valor es mucho mayor cuanto mayor sea el punto en el que se mida.

d) En porcentaje del límite superior del rango o campo de medida.

$$\text{Rango de precisión} = V_{real} \pm \frac{(L_{sup}) * (\%P)}{100} \quad (5.4)$$

e) En porcentaje de la longitud de escala. Si la longitud de escala es X entonces

$$\text{Rango de precisión} = V_{real} \pm \frac{(X) * (\%P)}{100} \quad (5.5)$$

Existen elementos que tienen diferentes tipos de precisión dependiendo de lo que especifique el fabricante, por ejemplo la primera mitad del campo de medida podría tener una precisión de a%, mientras que la parte superior podría tener un b%. Lo importante es que estos valores se tengan en cuenta, de manera que se

tenga control sobre el proceso. Esto ocurre ya que es imposible evitar las limitaciones físicas de los elementos. [3] Pág. 7.

**Zona muerta:** Es el conjunto de valores del campo de medida que no presenta efectos en el valor de la señal de salida del sensor. Viene dada en tanto por ciento del alcance de la medida. . [3] Pág. 8.

**Sensibilidad:** Razón entre el incremento de la variable de salida normalizada, y la entrada también normalizada. Es decir, si la entrada esta acotada, por ejemplo el sensor mide de  $a$  hasta  $b$ , entonces cualquier variación a la entrada deberá ir dividida entre  $(b-a)$ , luego si el sensor registra salidas por ejemplo de voltajes entre  $V_a$  y  $V_b$ , entonces cualquier variación a la salida deberá estar dividida por la diferencia  $(V_b-V_a)$ , y luego dividir entre sí los dos resultados anteriores, el segundo sobre el primero. [3] Pág. 8.

**Exactitud:** Es la capacidad que tiene el instrumento de presentar medidas próximas al valor real. [3] Pág. 7.

**Error.:** El error es la diferencia algebraica entre el valor medido y el valor real de la variable. El concepto anterior esta descrito para elementos de medición, y cabe recordar que el sensor es en esencia un elemento de medición, y es necesario conocer el error para determinar los ajustes requeridos sobre la señal de salida, se debe recordar que el sensor es un dispositivo que trabaja en conjunto con otros equipos, lo que representa también, errores de medida, lo importante es que el usuario tenga previo conocimiento de las limitaciones de los elementos que usa. [3] Pág. 4.

Al error que se registra para cuando el elemento mide un valor de entrada constante, se le denomina error estático, se presenta cuando el elemento trabaja

en estado estacionario o en régimen permanente, La diferencia entre el valor instantáneo de la variable física y el valor real se denomina error dinámico.

Error medio: Es la medida aritmética de los errores en cada punto de la medida determinados de los valores crecientes y decrecientes de la variable de medida.

Es necesario saber que cuando varios dispositivos están interconectados entre sí como elementos de medición, existirá un error total que depende de la contribución de los errores independientes de cada uno. Es decir:

$$e_t = e_1 + e_2 + e_3 + \dots + e_n$$

Bueno lo anterior es si los errores máximos se presentan al mismo tiempo, lo cual es poco probable, por lo tanto para el cálculo del error máximo total se suele usar más convenientemente la siguiente expresión:

$$e_t = \sqrt{(e_1^2 + e_2^2 + e_3^2 + \dots + e_n^2)}$$

**Repetibilidad:** La repetibilidad es la capacidad de un sensor de detectar el mismo objeto a la misma distancia todo el tiempo. Esta cifra se expresa como porcentaje de la distancia de detección nominal y se basa en una temperatura ambiental y voltaje eléctrico constantes.

Para calcular la repetibilidad existe una relación que se expresa de la siguiente forma:

$$\sqrt{\sum \frac{(x_i - x)^2}{N}}$$

Donde las  $x_i$  son las variaciones del valor real ( $x$ ), y  $N$  es el número de puntos que se evalúan.

El valor de la repetibilidad se da en porcentaje del alcance de la medida, y un valor de  $\pm 0.1$ , es un valor considerable. [3] Pág. 9.

**Figura. 66** Repetibilidad.



Tomada de [1] Pág. -4.

**Histéresis:** La histéresis, o desplazamiento diferencial, es la diferencia entre los puntos de operación (conectado) y liberación (desconectado) cuando el objeto se aleja de la cara del sensor y se expresa como un porcentaje de la distancia de detección. Sin una histéresis suficiente, el sensor de proximidad se conecta y desconecta continuamente al aplicar una vibración excesiva al objeto o al sensor, aunque se puede ajustar mediante circuitos adicionales. [3] Pág. 9.

**Mínimo valor medible o Umbral.** Es el cambio más pequeño en la magnitud de entrada que produce un cambio en la salida. Se define en función de la magnitud a medir y puede tener diferentes valores en las distintas zonas del rango. Depende del principio de funcionamiento del elemento sensor.

## CARACTERÍSTICAS DINÁMICAS

Especifican la respuesta del sensor al variar la magnitud a medir. Los sensores, como dispositivos reales que son, presentan una cierta incapacidad para seguir las variaciones de la magnitud de entrada que superan determinada pendiente de cambio, lo que da lugar a la aparición de errores cuando dichas variaciones son

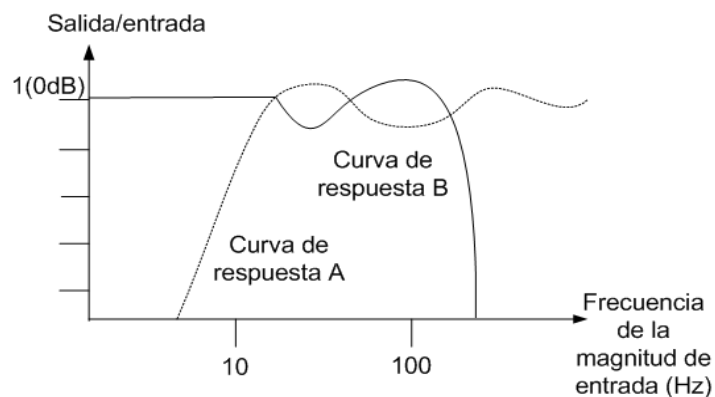
rápidas. Según esto, en aquellos casos en los que el sensor trabaja con magnitudes de entrada que varían de forma rápida o en los que pueden aparecer incrementos bruscos en la misma, es necesario conocer sus características dinámicas.

Con objeto de definir cuantitativamente las características de respuesta dinámica de un sensor industrial, se estudia la forma de onda de la señal de salida cuando la magnitud de entrada varía de acuerdo con unas formas de onda determinadas (variaciones senoidales o cambios en forma escalón).

Los parámetros que definen la respuesta dinámica de un sensor industrial se analizan a continuación. [8]. Pág. 502.

**Respuesta en frecuencia.** Representa la variación de la relación de amplitudes, salida/entrada, en función de la frecuencia, dentro de un rango definido de frecuencias y variaciones senoidales de la magnitud a medir. La Figura 67 muestra dos posibles curvas de respuesta en frecuencia.

**Figura. 67** Curvas de respuesta en frecuencia de dos sensores industriales diferentes.



Tomada de [8]. Pág. 502.

**Tiempo de respuesta.** Se define como el tiempo transcurrido desde que se aplica un cambio en escalón de la magnitud de a medir hasta que la salida alcanza un porcentaje determinado de su valor final y se denomina  $t_r$ . En los sensores todo o nada se suele especificar como el valor medio del tiempo que tarda la salida en pasar de todo a nada y viceversa (Figura 67).

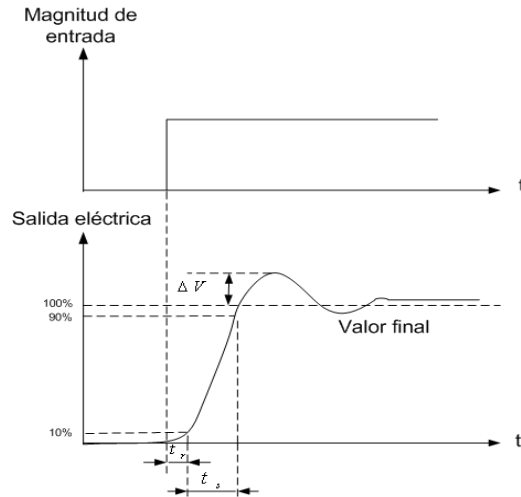
**Tiempo de subida.** Determina el intervalo comprendido entre el instante en el que la señal de salida alcanza el 10 % de su valor final y aquel el que alcanza el 90%, como resultado de un cambio en escalón en la magnitud de entrada, y se denomina  $t_s$ . Si el escalón fuese de variación negativa (descendente) este tiempo sería de bajada (Figura 67).

**Constante de tiempo.** Simbolizada por  $\tau$ , representa un caso particular del tiempo de respuesta y se define como el valor de tiempo necesario para que la salida alcance el 63% (concretamente el 63.2%) de su valor final cuando se aplica una señal en escalón.

**Amortiguamiento o sobre-oscilación ( $\Delta V$ ).** Es la diferencia entre el valor pico de la señal de salida y su amplitud final, y suele expresarse en porcentaje de esta amplitud. Si la señal de salida de un sensor, en respuesta a un cambio en el escalón de la magnitud de entrada, oscila alrededor del valor final antes de permanecer en este valor, se dice que se trata de un sensor subamortiguado. Por el contrario, si la salida alcanza el valor final sin superarlo en ningún momento, se dice que es sobreamortiguado. El amortiguamiento es un factor determinante del límite superior de la respuesta en frecuencia.

El conjunto de características que se acaba de analizar establece la respuesta de un sensor a un cambio escalón de la magnitud de entrada y constituyen lo que se denomina *respuesta transitoria*. Se presenta en la Figura 68.

**Figura. 68** Respuesta transitoria de un sensor.



Tomada de [8] pág. 504.

**Características de fiabilidad** Aunque algunas características ambientales pueden considerarse, en cierta medida, definitorias de la fiabilidad de un sensor, las características de fiabilidad propiamente dichas son las que hacen referencia a la vida útil de un sensor y a los errores que, como consecuencia del envejecimiento del mismo, pueden aparecer con el transcurso del tiempo.

El envejecimiento de un sensor es algo con lo que se debe contar, a más o menos largo plazo según el tipo de sensor de que se trate (ningún sensor dura eternamente). Trae consigo una pérdida progresiva de las características, aunque teóricamente, se podría alargar la vida del sensor, realizando las acciones de mantenimiento adecuadas.

Se denomina *vida operativa o vida útil* de un sensor al intervalo de tiempo durante el cual funciona correctamente en las condiciones previstas por el fabricante, que incluyen las acciones de mantenimiento anteriormente indicadas.

En algunas ocasiones es también importante conocer la *vida de almacenamiento* de un sensor que se define como el tiempo durante el cual el sensor puede estar almacenado en unas condiciones determinadas sin sufrir modificaciones de sus características dentro de un margen de tolerancia especificado.

Otras tres características que son lo suficientemente dependientes del tiempo para ser consideradas como características de fiabilidad son: *la estabilidad temporal de la salida, el desplazamiento del cero y el desplazamiento de la sensibilidad*. Las dos últimas no deben confundirse con sus homónimas ya estudiadas al hablar de los efectos térmicos, aunque su contribución al error final se manifiesta de la misma forma.

La *estabilidad temporal de la salida* representa la variación del valor de la señal de salida durante un tiempo determinado, cuando la magnitud que se mide, al igual que las condiciones ambientales, se mantienen constantes.

El *desplazamiento de cero* se define como la variación del valor de la señal de salida cuando la magnitud de entrada cero, durante un periodo de tiempo especificado y a temperatura ambiente. Se caracteriza, como se indica anteriormente, por provocar un desplazamiento paralelo de la curva de calibración respecto de la curva original.

El *desplazamiento de sensibilidad* se especifica como el máximo cambio de la sensibilidad observado durante un periodo de tiempo determinado a temperatura ambiente. Se manifiesta un cambio de pendiente de la curva de calibración.

En cuanto a las características de fiabilidad relacionadas con los efectos no deseados que inciden sobre el sensor industrial cuando está instalado, dependen generalmente del tipo de aplicación. En ellas se incluyen todas aquellas características consideradas importantes que determinan los efectos de un fallo

después de que este se produce (cortocircuitos internos, ruptura de elementos o del encapsulado, etc.).

# PRÁCTICA 1. RECONOCIMIENTO DEL MÓDULO DIDÁCTICO DE SENSORES DE PROXIMIDAD

## 1. INTRODUCCIÓN.

Un sensor es aquel elemento que al igual que los sentidos humanos es capaz de percibir cierta magnitud y convertirla a otro tipo de variable, es por esto que se les conoce también como transductores. Según el tipo de sensor que se tenga, este puede captar cierto tipo de material. En las industrias suelen emplearse sensores que funcionan con principios inductivos, los cuales tienen como característica más importante de detectar metales, mientras que los capacitivos pueden detectar dieléctricos o materiales aislantes, los fotoeléctricos y los ultrasónicos que se puede decir que pueden detectar todo tipo de material, también están los potenciométricos, los finales de carrera. Cabe recordar que la diferencia más importante entre un sensor industrial y un sensor común, es su capacidad de soportar ambientes hostiles propios de la industria; además los sensores industriales deben entregar a su salida señales con formato correspondiente al establecido para las comunicaciones entre dispositivos de campo.

El sensor industrial hace referencia a aquel tipo de sensor que cuenta con las medidas de protección necesarias para garantizar su funcionamiento durante cierto tiempo y bajo ciertas condiciones de operación, para que el sensor opere de manera correcta, es necesario tener en cuenta ciertos aspectos tales como: distancia entre sensores del mismo tipo, distancia entre el sensor y determinada superficie que podría modificar su salida y la distancia entre conductores (los cables que alimentan los sensores y los que llevan la señal de salida).

Cuando se habla de sensores se debe tener en cuenta que estos deben ir conectados a otros dispositivos, para permitir el control y visualización de las variables que abarcan un proceso de medición, estos elementos son entre otros: PLCs, elementos de visualización (Leds indicadores, displays para visualización, y algunos otros), entre otros. En la presente guía se busca que el estudiante entienda las conexiones entre dispositivos industriales, el porqué de la disposición (ubicación) de los elementos, y los códigos para

conexión que se emplean en la industria, referente a sensores, además los conectores que se emplean.

## **2. OBJETIVOS.**

- Conocer algunos de los diferentes tipos de sensores que pueden ser utilizados para medir distancia y detectar proximidad empleados en la industria, además conocer procesos como cableado, selección de dispositivos, interactuar también con elementos como visualizadores, los cuales actúan con el sensor en el sistema de control.
- Determinar el tipo de material que se puede detectar con determinado sensor, para de esta manera encontrarle algún tipo de aplicación en la industria, conocer las diversas distancias que se pueden detectar dependiendo del tipo de sensor que se esté usando.
- Analizar la relación que existe entre el tamaño del sensor, el principio de funcionamiento, el material de construcción y en general muchas de sus características, con respecto al rango de medición y detección.
- Conocer el tipo de montaje que debe tener el sensor para que pueda funcionar correctamente.

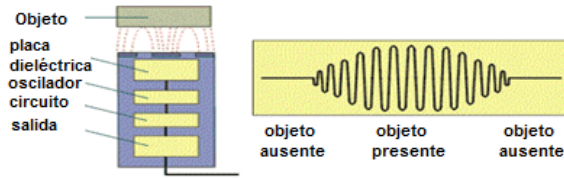
## **3. Marco teórico.**

### **3.1 Sensor capacitivo.**

Un sensor capacitivo, es un dispositivo al cual al acercarle cierto material dieléctrico (no obstante puede detectar metales también), este hace que se altere su constante dieléctrica, y por tanto su capacitancia, lo cual causa oscilaciones en el circuito interno del sensor, internamente estas oscilaciones son convertidas a un nivel de tensión, y es este nivel lo que generalmente se lee de los terminales de los sensores capacitivos. A continuación se puede ver de manera gráfica cómo opera el sensor capacitivo.

La superficie activa de un sensor capacitivo está formada por dos electrodos metálicos concéntricos, similares a los electrodos de un condensador abierto y desplegado. Las superficies de los electrodos A y B están dispuestas en la rama de realimentación de un oscilador de alta frecuencia que está sintonizado para que no oscile si está libre la superficie.

**Figura. 1** Operación del sensor de proximidad capacitivo.



Tomada de: [Citado 10 de mayo de 2010; 8:35].

<http://www3.sea.siemens.com/step/templates/lesson.mason?sensors:4:2:1>

La forma en la que varía la capacitancia interna del sensor se describe según la siguiente relación, en donde  $k$  es la constante dieléctrica del material.

$$C = \frac{Q_0}{V} = k \frac{Q_0}{V_0} = kC_0$$

### 3.2 Sensor inductivo.

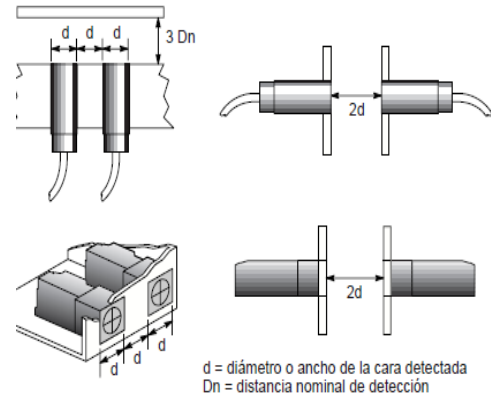
El sensor inductivo permite la detección de metales. Cuando un elemento metálico se acerca a su superficie de detección se inducen corrientes de superficie (corrientes parásitas) en el objeto metálico, las cuales restan energía al campo electromagnético, dando lugar a una pérdida de energía en el circuito del oscilador y, por tanto a una reducción de la amplitud de la oscilación, caso contrario a lo que se observaba con el sensor capacitivo.

#### 3.2.1 Distancia mínima entre sensores inductivos.

Existe una distancia mínima entre detectores inductivos, la cual depende de su clasificación, el fabricante debe dar a conocer este

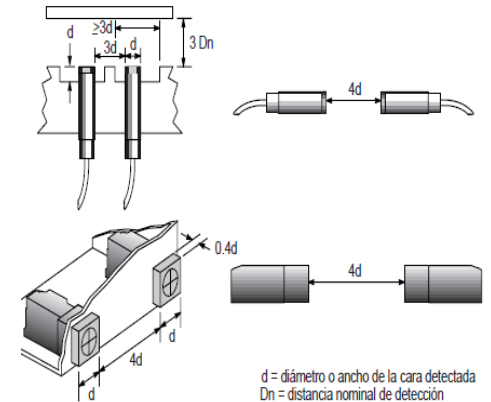
dato para asegurar el correcto funcionamiento del dispositivo.

**Figura. 2** Espaciado para sensores blindados contiguos y montados uno al frente del otro.



Tomada de [8] Pág.4-5.

**Figura. 3** Espaciado para sensores no blindados contiguos y montados uno al frente del otro.



Tomada de [8] Pág.4-5.

Los sensores no blindados suelen requerir un espacio correspondiente a tres veces el diámetro de la cara de detección (para sensores contiguos) y a cuatro veces el diámetro de la cara

de detección cuando se montan uno al frente del otro.

### 3.2.2 Cables.

Generalmente se emplean cables flexibles resistentes al aceite con cubierta exterior de poliuretano (PUR) y una longitud estándar de 2m. Algunos de estos cables vienen con diferentes tipos de conectores, los cuales permiten la conexión y desconexión rápida de estos a los diferentes sensores.

#### 3.2.2.1 Longitud del cable.

En detectores de proximidad los cables largos tienen los siguientes efectos negativos:

- Carga capacitiva en la salida.
- Efecto reforzado de señales perturbadoras.

No se debe sobrepasar una longitud de 300 m.

Los cables de conexión no deben estar en paralelo a otros cables para cargas inductivas. Para prevenir posibles perturbaciones, se pueden tomar las siguientes medidas:

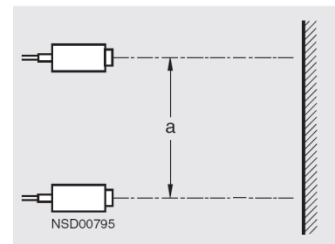
- Distancia frente a cables perturbadores > 100 mm.
- Apantallamiento.
- Desparasitar las bobinas (de contactores, relés, electroválvulas) con elementos RC o varistores.

### 3.3 Sensor fotoeléctrico.

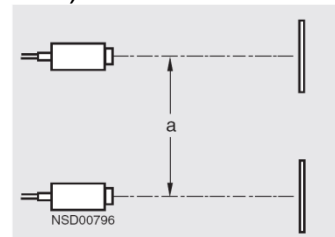
Un sensor fotoeléctrico, es aquel que basa su principio de detección en el uso de la luz en sus diferentes

longitudes de onda para percibir un objeto dentro de su rango de detección. Pueden detectar de diferentes maneras, una de ellas es por obstrucción de la luz, otra por iluminación, las dos anteriores solo detectan si el objeto esta o no esta, y otra de ellas es por intensidad, y en este caso se puede calcular distancia del objeto. Se usan también longitudes de onda para detectar materiales de ciertos colores.

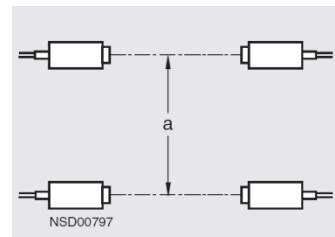
**Figura. 4** Distancia mínima entre sensores fotoeléctricos.



a). Sensor difuso.



b). Barrera fotoeléctrica por reflexión



c) Barrera fotoeléctrica directa.

Tomada de [12] Pág. 2/71.

### 3.3.1 Distancia mínima.

Los detectores de proximidad fotoeléctricos no deberán afectarse mutuamente. Por ello es necesario respetar una distancia mínima **a** entre dos detectores.

**Tabla 1.** Distancia **a** según dimensiones de los catálogos de venta.

| Detectores fotoeléctricos de proximidad | Cota <b>a</b>        |
|---|----------------------|
| D4/D5                                   | 50 mm                |
| M12                                     | 250 mm               |
| M18                                     | 250 mm               |
| K31                                     | 750 mm               |
| K80                                     | 500 mm               |
| L18(Barrera a láser)                    | 150 mm <sup>1)</sup> |
| L50(Sensor difuso a láser)              | 30 mm                |
| L50(Barrera a láser)                    | 80 mm                |
| C50(Sensor cromático)                   | 500                  |

<sup>1)</sup>Enfocado a 50 m.

Tomada de [12] Pág. 2/71.

Esta tabla contiene la referencia que muestran los sensores SIEMENS en su catalogo de ventas, lo cual al igual que con los sensores de tipo inductivo, le corresponde al fabricante hacer saber.

### 3.3.2 Longitud del cable.

Desventaja de conductores muy largos >300m.

- Carga capacitiva adicional (protección contra cortocircuito).
- Mayor peligro de acoplamiento de señales perturbadoras.

Por eso no se debe sobrepasar la longitud máxima indicada para los cables.

### 3.4 Sensor ultrasónico.

El sensor ultrasonido como su nombre lo indica usa las ondas sonoras en ultrasonido imperceptibles para el oído humano, para realizar la detección de objeto, un sensor de este tipo consta principalmente de un emisor y un receptor, que como ya se ha visto pueden estar ubicados en el mismo dispositivo como en la mayoría de los casos, o pueden ir un emisor y un receptor por aparte.

En todo caso en el primero de los casos básicamente el emisor envía una señal de ultrasonido (señal de pulsos) de cierta frecuencia mayor a 25 KHz, cuando la onda choca contra un objeto a cierta distancia, esta se refleja retornando al sensor y el receptor mide el tiempo que se demoró la onda en regresar, y en base a esto calcula la distancia.

#### 3.4.2 Montaje.

Para lograr los mejores resultados de reflexión los detectores ultrasónicos de proximidad deberán orientarse siempre de forma que las ondas ultrasónicas incidan de la manera más perpendicular posible sobre el objeto. Si esto no es posible (p. ej. en granulados), entonces el alcance máximo posible deberá determinarse de forma experimental. Dicho parámetro depende del material, del tipo de superficie y de la orientación de los objetos.

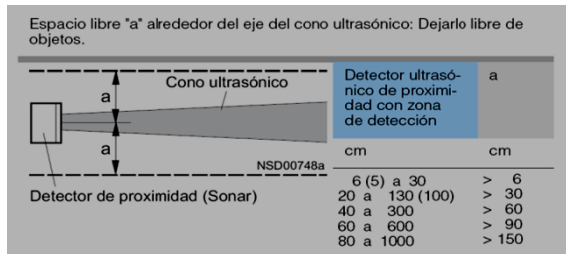
Para evitar reflexiones parásitas es necesario despejar de objetos perturbadores un espacio libre separado una distancia "a" del cono ultrasónico (ver Conos ultrasónicos).

Entre el eje del cono ultrasónico de una pared lisa que discurre en paralelo es necesario observar una distancia "b" para evitar reflexiones parásitas. También hay que dejar libre de objetos la zona alejada "c" del detector para evitar la entrada de objetos en la zona ciega (ver Conos ultrasónicos).

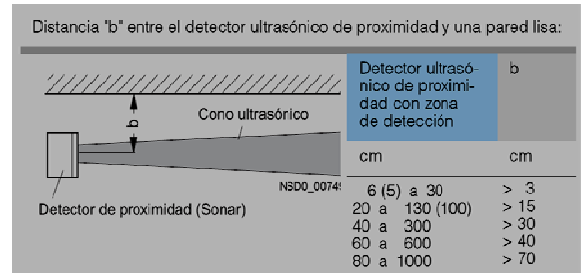
Si se instalan en oposición dos detectores ultrasónicos de proximidad idénticos es necesario observar una separación "d". Si se colocan en paralelo dos detectores idénticos, entonces deberán mantenerse una separación "e" entre los mismos.

Algunos detectores pueden sincronizarse o funcionar en modo multiplexado para evitar interferencias mutuas.

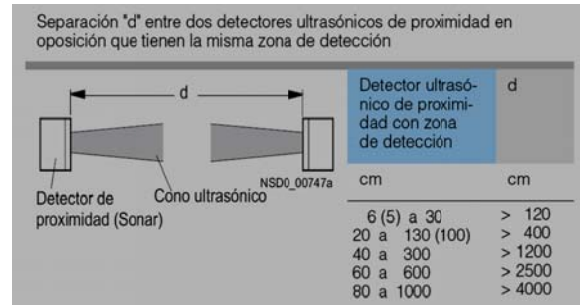
**Figura. 5** Conos de detección y distancias para montaje de sensores ultrasónico.



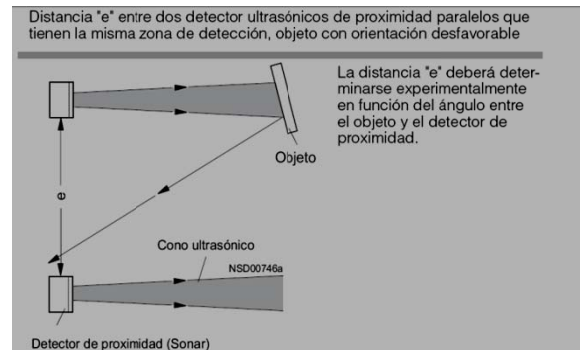
(a)



(b)



(c)



(d)

Tomado de [12] Pág. 2/5.

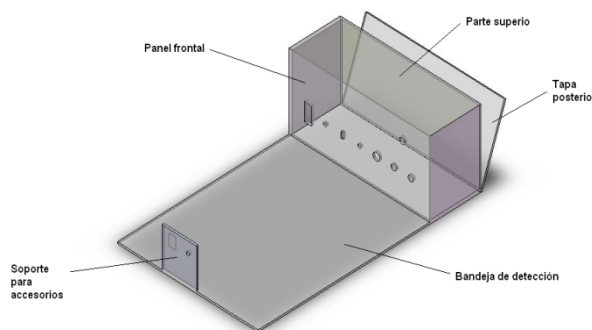
#### 4. Vista frontal del módulo.

La cara frontal del módulo cuenta con 8 sensores numerados de derecha a izquierda, en donde el número 1 es el mas a la derecha, el número 7 el mas a la izquierda y el número 8, está ubicado más arriba que los demás, debido a características de montaje (para esta presente guía no se especificará, de que sensor se trata, ya que el estudiante deberá

deducirlo, según lo que conoce acerca del principio de funcionamiento con el que operan).

Frente al panel frontal hay una lámina, la cual se denomina panel de accesorios, en ella está dos elementos indispensables para el funcionamiento de dos de los sensores del módulo, según lo ya leído acerca de los sensores, es necesario que deduzca experimentalmente la función de estos dispositivos.

**Figura 6** vista global del módulo.



## 5. CONOCIMIENTOS PREVIOS.

En este punto el usuario (estudiante) debe conocer los conceptos ya expuestos sobre las conexiones de los sensores, con respecto a los tipos de conectores y cables empleados para la alimentación y salida de los sensores, es importante que lo sepa antes de maniobrar, e intentar cualquier tipo de acción sobre los elementos internos. Leer el marco teórico de la presente guía que resume el tipo de sensores y los conectores y cables. Como se sabe de lo leído, los sensores dentro del

módulo son de diferente tipo, algunos del mismo, lo relevante es que ahí adentro existen sensores de distintos principios de funcionamiento, que se diferencian además por otras características, muchas perceptibles a simple vista, y estas son las que se quieren revisar en este práctica, a continuación se describen algunos de los pasos para llevar a cabo este reconocimiento.

Se requiere que el estudiante conozca la manera en la que se pueden utilizar los diferentes elementos de medición empleados en el laboratorio, como fuentes de tensión, multímetro, osciloscopios. Ya que en muchos casos se va a pedir llevar a cabo algunas conexiones específicas y mediciones de corriente y voltaje.

## 6. (PROCEDIMIENTO) Observar y analizar las conexiones internas del módulo.

En la parte posterior del módulo hay una puerta, la cual se abre con la llave del módulo.

**Advertencia:** Revisar que todas las alimentaciones estén desconectadas de la fuente de alimentación principal, esto para evitar posibles descargas al usuario (estudiante), daños a los dispositivos, de no ser así (si no están desconectadas), que este procedimiento sea supervisado por el docente encargado de la materia.

No observe de frente la cara de los sensores fotoeléctricos, cuando estén encendidos, aunque no perciba algún

rayo de luz, ya que podría sufrir daños en sus ojos.

|  |  |  |
|--|--|--|
|  |  |  |
|--|--|--|

**6.1 Características de montaje, y material de construcción del sensor.**

En este paso se plantea la observación de cómo están ubicados los diferentes tipos de sensores, a qué distancia se encuentra uno del otro y material de construcción de cada sensor.

**6.1.1** Muestre la distancia y la ubicación de los diferentes tipos de sensores mediante una figura proporcional a la cara del sensor como se observa en la parte frontal del módulo.

**6.1.2** Numere cada sensor de la gráfica según lo desee, se recomienda numerar el de mas a la izquierda como el primero, y el de más arriba como el octavo, esta lista servirá para los siguientes puntos de la práctica y para las siguientes prácticas.

**6.1.3** Teniendo la lista anterior, describa cada sensor según como lo numeró teniendo en cuenta el material con el que está construido y las dimensiones de la cara del sensor, por ejemplo, metal, plástico, etc. Cuando haya reunido todos los datos pedidos escribalos en una tabla como la siguiente:

**Tabla 2.** Numeración, material y dimensiones del sensor

| N | Material de construcción | Dimensiones, cara del sensor. |
|---|--------------------------|-------------------------------|
| 1 | Plástico, metal          |                               |
| 2 | Plástico                 |                               |

Donde:

- N indica el número que el estudiante asignó al sensor.
- El primer material que se escriba equivale al de la cara del sensor y el siguiente al del cuerpo.

Según el ejemplo de la tabla anterior el segundo sensor es totalmente en plástico, al menos es así por fuera.

¿Además de estos materiales que otros observa?

¿Qué particularidades ha encontrado con respecto a la forma de los sensores?

**6.1.4** Escriba según la numeración los sensores que son montados a ras y los que no.

¿Qué diferencias físicas percibe entre los montados a ras y los que no?

**6.1.5** Observe los sensores abriendo la tapa del módulo, dibuje el sensor con sus dimensiones aproximadas, haciendo notar las diferencias de tamaño entre cada uno según la numeración asignada.

¿La cara del sensor más grande corresponde al sensor más largo?

¿Dónde está ubicado el sensor más largo?

¿De qué material es el sensor más largo, y de que material es el más pequeño?

## **7. Otros dispositivos asociados al módulo.**

**7.1** Describa gráficamente qué otros dispositivos observa, tanto dentro como fuera del módulo. De no conocer su aplicación, pregunte al docente sobre sus características y marca. Investigue acerca del elemento y como se opera, y dentro del informe correspondiente a esta primera práctica escriba lo que averiguó con respecto a sus características de modo que en la siguiente práctica conozca de que elemento se trata.

**7.2** Pregunte al docente las referencias de los sensores y la marca para que pueda identificarlos para la siguiente práctica, y se vaya relacionando con las referencias manejadas en la industria.

## **8. Conexión de los diferentes elementos del módulo.**

Existen diferentes tipos de alimentación (alterna y continúa en diferentes rangos) para los sensores industriales.

**8.1** Describa mediante un diagrama el tipo de conexión del sensor, con cuantos cables es alimentado (Para mayor comprensión de este punto, se requiere que el estudiante previamente haya leído sobre los tipos de conexiones en sensores industriales). Dibuje también la forma real del conector utilizado.

**8.2** Anotar las diferencias encontradas en los conectores (color, grosor y si estos pueden ser fáciles de quitar y poner) para cada sensor.

## **9. Encender el módulo y los diferentes equipos de visualización.**

**ADVERTENCIA.** Asegúrese que el módulo esté internamente conectado de la manera correcta según el diagrama de conexiones, ya que cualquier fallo en las conexiones puede dañar o deteriorar los dispositivos. No obstante los dispositivos industriales poseen circuitos de protección frente a diversos errores humanos, como polaridad inversa, exceso de tensión, sin embargo es mejor estar seguros de que las condiciones de operación no sobrepasen los límites especificados.

**9.1** Conectar las fuentes de alimentación al sensor que se quiera encender según la polaridad indicada en el diagrama de conexiones y en los bornes en la cara superior del módulo (antes de conectar observar el valor de tensión en la fuente, que se ajuste al rango que se observa en los bornes).

**9.2** Encender las fuentes de alimentación de DC. El interruptor en la cara superior enciende el sensor de corriente alterna.

¿Qué cree que ocurre internamente en el sensor de corriente alterna con respecto a la alimentación?

**9.3** Medir con el multímetro el nivel de la alimentación y escribir el valor visualizado, esto para verificar que la fuente este entregando el valor de tensión correcto.

**9.4** Ponga el multímetro en posición de medición de corriente continua y conéctelo entre el borne positivo de alimentación del sensor y el terminal positivo de la fuente de alimentación, anote los valores de corriente observados para cada sensor según la numeración realizada a lo largo de toda la práctica ya que estos corresponden con la posición de sus bornes, esta corriente se mide sin objeto a detectar, o corriente en vacío.

**10. Detección de materiales y verificación del comportamiento de los sensores.**

En esta parte de la práctica, se quiere que el estudiante haga uso de los diferentes materiales, ubicados en la “caja de materiales para el módulo de sensores didáctico”. En esta caja existen materiales de diferentes tipos. El estudiante deberá acercar cada uno de estos materiales frente a cada uno de los sensores y verificar la detección o no detección de los mismos por parte del sensor frente al cual se ubicó.

**10.1** Escribir el sensor analizado según la numeración en los puntos anteriores, el material que se puso frente a él (A, B, C...), en la siguiente tabla.

**Tabla 3.**

| N | Material | Detección | Distancia o |
|---|----------|-----------|-------------|
|---|----------|-----------|-------------|

|   |   |    | rango de distancia |
|---|---|----|--------------------|
| 1 | A | SI | 5 a 10             |
|   |   |    |                    |

Escribir SI en caso de haber detección y NO en caso contrario. Anotar los puntos en los que hubo detección y registrarlos también en la tabla 3.

Donde:

N nuevamente es el número que se ha asignado al sensor.

**11. Identificación de los sensores.**

Señale a que sensor cree que corresponde cada uno de los dispositivos del módulo (fotoeléctrico, capacitivo, inductivo o ultrasónico) según la detección efectuada por dicho sensor, y según todas las características observadas durante toda la práctica.

**11.1** complete la siguiente tabla, según el sensor que crea correspondiente.

Tabla. 4

| N | Tipo de sensor |
|---|----------------|
| 1 |                |
| 2 |                |
| 3 |                |
|   |                |
|   |                |

¿Qué relación encontró en cuanto al tamaño del sensor y su zona de detección y rango?

¿Qué relación encontró entre el tipo de sensor y el rango de detección?

## **12. CONCLUSIONES.**

## **13. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.**

- [1] Allen Bradley. Fundamentos del sensado o detección de presencia. Copyright 1999 Rocwell internacional. Publicación FSM-900las. Enero 2000. (manual de capacitación).
- [2] Benavides L., Villamizar R. Transductores de proximidad, Universidad Industrial DE Santander. 2001. (trabajo de grado).
- [3] <http://www.pepperl-fuchs.es/cps/rde/xchg/spain/hs.xsl/21.htm>.
- [4] HAYT W, Teoría Electromagnetica Mc Graw Hill, Mexico, 5 Ed. 1991. Cap5.
- [5] Mandado E., Marcos J., Fernández C., Armesto J., Perez S. Autómatas programables entorno y aplicaciones. 1ª ed. España: THOMSOM, 2006.
- [6] SIEMENS AG 2008. Catalogo FS 10.2008.

# PRÁCTICA 2. ANÁLISIS DE LAS DE LOS DETECTORES CAPACITIVOS E

## 1. INTRODUCCIÓN.

Cuando se trabaja con sensores se debe recordar que son elementos de medida, que están sujetos a variaciones en su comportamiento, debido a diversos factores, sin embargo existen dispositivos que presentan variaciones pequeñas y constantes que se pueden determinar de antemano, es decir que pueden ser controladas mediante su previo conocimiento, es por esto que el fabricante entrega además de los rangos de medida y alcance también aquellos como precisión, error, histéresis, tiempos de respuesta.

En esta práctica se plantean métodos para calcular algunos de los parámetros más importantes cuando se está trabajando con detectores de proximidad, analizando también como se produce la detección de los diferentes elementos según el principio de funcionamiento de cada sensor, en esta práctica se discutirán los sensores de proximidad inductivos y capacitivos, debido a que su funcionamiento en la práctica es muy similar el uno del otro, su diferencia más importante fuera de que tienen diferentes principios de funcionamiento radica en el tipo de material a detectar en aplicaciones industriales.

## 2. OBJETIVOS.

- Analizar el comportamiento del sensor capacitivo e inductivo,

mediante el acercamiento de un determinado material a cada uno de estos sensores, tal que se pueda encontrar la relación entrada-salida, y según esta relación establecer las características de este sensor frente a este material.

- Obtener de manera aproximada la zona de detección del sensor en estudio y compararla con la zona de detección de la hoja de datos, a partir de este análisis determinar una de sus posibles aplicaciones en la industria.
- Determinar las ventajas y desventajas correspondientes a la utilización de los dos tipos de sensores en análisis, basándose en el tipo de material detectado y la distancia en la que ocurrió la detección.
- Visualizar al sensor como parte de un proceso industrial, mediante el cálculo de sus características como instrumento de medición.

## 3. MARCO TEÓRICO.

### 3.1 Sensor inductivo.

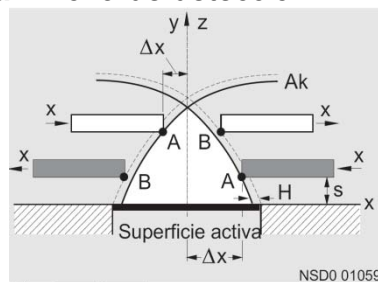
El sensor inductivo permite la detección de metales. Cuando un elemento metálico se acerca a su superficie de detección se inducen corrientes de superficie (corrientes parásitas) en el objeto metálico, las cuales restan

energía al campo electromagnético, dando lugar a una pérdida de energía en el circuito del oscilador y, por tanto a una reducción de la amplitud de la oscilación.

### 3.1.1 Característica de respuesta.

Es aquella curva en la que se encuentran todos los puntos de respuesta para un detector de proximidad. Se ha determinado usando una placa de medición normalizada. De ella pueden tomarse los valores característicos del detector.

Figura1. Zona de detección.



Tomada de [12] Pág.2/140

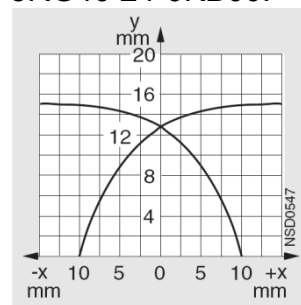
- Ak Característica de respuesta
- A Punto de respuesta
- B Punto de relajación
- H Histéresis de conmutación
- s Distancia de trabajo
- x Dirección de desplazamiento
- Δx Distancia de activación
- Y Distancia frente al detector de proximidad
- z Eje de referencia

### 3.1.2 Zonas de detección para el sensor inductivo.

El siguiente sensor que está incluido dentro del módulo tiene la siguiente

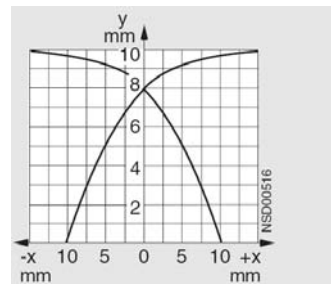
referencia según el catalogo de sensores Siemens 3RG 40 24-0KB00. Este es un detector inductivo cilíndrico para tensión de 20-265 Vac / 20-320 Vdc, 2 cables, con un alcance de detección de 15 mm. Su curva de detección proporcionada por el fabricante es la siguiente:

Figura 2. Zona de detección sensor inductivo 3RG40 24-0KB00.



Tomada de [12] Pág. 2/138

Figura 3. Zona de detección sensor inductivo 3RG 4014-3AG01.



Tomada de [12] Pág. 2/138

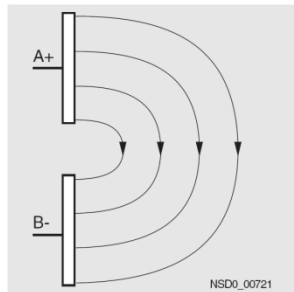
### 3.2 Sensor capacitivo.

Generalmente el sensor capacitivo tiene características similares al sensor inductivo.

La superficie activa de un sensor capacitivo está formada por dos electrodos metálicos concéntricos,

similares a los electrodos de un condensador abierto y desplegado. Las superficies de los electrodos A y B están dispuestas en la rama de realimentación de un oscilador de alta frecuencia que está sintonizado para que no oscile si está libre la superficie.

**Figura 4.** Electrodos del sensor capacitivo.



Tomada de [12] Pág. 2/242.

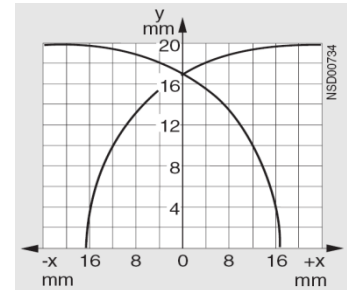
Cuando un objeto se aproxima a la superficie activa del sensor, penetra en el campo eléctrico que hay delante de la superficie de los electrodos y modifica la capacidad de acoplamiento. Con ello ese oscilador comienza a oscilar; la amplitud de la oscilación se mide mediante un circuito de evaluación y se transforma en un orden de conmutación.

A continuación se muestra una tabla con diferentes valores para  $\epsilon_r$ .

### 3.2.1 Zonas de detección para sensores capacitivos.

El sensor que está en el módulo es el 3RG16 55-6LD00 de Siemens.

**Figura 5.** Zona de detección del sensor 3RG16 55-6LD00.



Tomada de [12] Pág. 2/247.

**Tabla 1.** Constantes dieléctricas de algunos materiales.

| Material               | D.C. | Material           | D.C. |
|------------------------|------|--------------------|------|
| Alcohol                | 25.8 | Polyamide          | 5    |
| Araldite               | 3.6  | Polyethylene       | 2.3  |
| Bakelite               | 3.6  | Polypropylene      | 2.3  |
| Glass                  | 5    | Polystyrene        | 3    |
| Mica                   | 6    | Polyvinyl Chloride | 2.9  |
| Hard Rubber            | 4    | Porcelain          | 4.4  |
| Paper-Based Laminate   | 4.5  | Pressboard         | 4    |
| Wood                   | 2.7  | Silica Glass       | 3.7  |
| Cable Casting Compound | 2.5  | Silica Sand        | 4.5  |
| Air, Vacuum            | 1    | Silicone Rubber    | 2.8  |
| Marble                 | 8    | Teflon             | 2    |
| Oil-Impregnated Paper  | 4    | Turpentine Oil     | 2.2  |
| Paper                  | 2.3  | Transformer Oil    | 2.2  |
| Paraffin               | 2.2  | Water              | 80   |
| Petroleum              | 2.2  | Soft Rubber        | 2.5  |
| Plexiglas              | 3.2  | Celluloid          | 3    |

Tomada de [12] Pág. 2/242.

Este sensor puede detectar materiales con distancia de hasta 20 mm. Como se dijo antes es muy parecido a las curvas mostradas para el sensor inductivo.

### 3.3 Características estáticas.

Entre las características estáticas se encuentran aquellas que se determinan cuando el elemento de medición se encuentra operando en estado estacionario o estable.

**Precisión:** Este término hace referencia a la tolerancia máxima que tiene el sensor a arrojar valores próximos al valor real. Define los límites de errores cometidos, cuando el elemento es usado bajo condiciones de operación normal. Existen varias formas para expresar la precisión:

hacer variar un parámetro de entrada de un proceso en un sentido (acercar o alejar), medir, y luego comparar el valor medido con el de un patrón de medida, o con el valor de la salida en ese punto establecido por el fabricante. Para calcular la repetibilidad existe una relación que se expresa de la siguiente forma:

Tabla 2. Formulas para calcular la precisión.

$$\sqrt{\frac{\sum (x_i - x)^2}{N}}$$

| Precisión                                  | Formula   |
|--|---|
| En % del alcance.                          | $V_{real} \pm \frac{(V_{real} \pm A) * (\%P)}{100}$                       |
| En unidades de la salida                   | $((V_{real} \pm P))$  |
| En % de la medición efectuada              | $V_{real} \pm \frac{(V_{real}) * (\%P)}{100}$                             |
| En % del límite superior o campo de medida | $V_{real} \pm \frac{(L_{sup}) * (\%P)}{100}$                              |
| En % de la longitud de escala              | $V_{real} \pm \frac{(X) * (\%P)}{100}$<br>Siendo X la longitud de escala. |

Donde las  $x_i$  son las variaciones del valor real ( $x$ ), y  $N$  se refiere a la cantidad de puntos evaluados.

Tomada de [6].

El valor de la repetibilidad se da en porcentaje del alcance de la medida, y un valor de  $\pm 0.1$ , es un valor considerable.

Donde:

A= es el alcance.

P= precisión.

Las características más relevantes y algunas de ellas relacionadas entre sí son: el error estático, la precisión, la linealidad, la sensibilidad, la repetibilidad, la exactitud, la histéresis, entre otras.

**Histéresis:** Muchos dispositivos presentan un valor diferente al que se midió anteriormente, cuando se recorre la escala en sentido contrario, por lo cual es importante registrar esta diferencia.

$$H = \frac{(V \rightarrow) - (V \leftarrow)}{A}$$

**Repetibilidad:** Es necesario que bajo las mismas condiciones de operación, el sensor arroje siempre los mismos valores, en los puntos en los que ya se evaluó la variable de entrada. Una de las formas de determinarlo se basa en

#### 4. CONOCIMIENTOS PREVIOS.

Es necesario que el estudiante a realizar la práctica conozca el principio de funcionamiento de los sensores inductivos y capacitivos.

Se requiere que el estudiante conozca la manera en la que se pueden utilizar los diferentes elementos de medición empleados en el laboratorio, como

fuentes de tensión, multímetro, osciloscopios. Ya que en muchos casos se va a pedir llevar a cabo algunas conexiones específicas y mediciones de corriente y voltaje.

Antes de empezar la práctica se recuerda el sensor capacitivo en el módulo es el número 5 y los inductivos son el 6 y 7, según la numeración recomendada asignada para el módulo.

- **PROCEDIMIENTO**

## **5. CARACTERIZACIÓN DEL SENSOR INDUCTIVO.**

### **5.1 Medición de características estáticas.**

#### **5.1.1 Cálculo de repetibilidad, precisión, error, en el sensor inductivo.**

**5.1.1.1** Tomar un material metálico de los materiales en la *caja de materiales del módulo*

Acercar el material al sensor cerca de su zona de detección luego acercarlo milímetro a milímetro hasta que cause variación a la salida y registrar el valor de tensión que se obtiene y la distancia de detección.

Quitar el objeto y repetir el paso anterior hasta obtener 25 datos, aunque lo anterior depende de si se presentan cambios en las diez primeras distancias de detección, de no ser así detenerse la décima vez.

**5.1.1.2** repetir el paso anterior pero en sentido contrario al que se tomó en la medición anterior, en esta

ocasión se analizará la distancia a la cual el detector deja de percibir el objeto. Tomar como límite del objeto la cara que ve al sensor.

¿A que se pueden deber las diferencias con respecto a la distancia presentada en los pasos anteriores?

**5.1.1.3** Tomar los valores y realizar cálculos correspondientes de tensión y distancia de detección.

**5.1.1.4** Repetir los pasos de los puntos anteriores, ahora en trayectoria perpendicular, a la trayectoria anterior.

¿A que se pueden deber las diferencias con respecto a la distancia presentada en los pasos anteriores?

#### **5.1.2 Determinación de la histéresis.**

**5.1.2.1** Calcular el valor de una posible histéresis mediante los datos anteriores. (el término posible radica en que esta no es la forma de medir la histéresis, ya que para medirla se requiere acercarse al material en uno u otro sentido de manera intercalada).

**5.1.2.2** Intercalar el acercamiento y el alejamiento del objeto y registrar nuevamente los valores obtenidos en uno y otro caso en cuanto a la distancia de detección y tensión a la salida, al momento de copiar tener cuidado de diferenciando los datos que corresponden al acercamiento y al alejamiento.

**5.1.2.3** Teniendo ya los datos registrados del paso anterior, realizar los cálculos para obtener la precisión, error, repetibilidad, con respecto a la

distancia de detección mostrada en las hojas de datos.

Con base a los valores calculados llenar la siguiente tabla 3:

Los valores de la precisión registrarlos en una tabla como la 2.

Tabla 3.

|               |  |
|---------------|--|
| Error         |  |
| Repetibilidad |  |
| Histéresis    |  |

### 5.1.3 Zona de detección del sensor.

Conectar el multimetro en los bornes de salida del sensor inductivo.

**5.1.3.2** Acercar el material al sensor de manera frontal, hasta encontrar la distancia a la cual el valor de la salida del sensor varía.

**5.1.3.3** Mover el elemento de manera frontal acercándose al sensor y registrar si ocurren variaciones.

**5.1.3.4** Devolver el material al punto inicial y moverlo hacia un lado en línea recta hasta que ya no lo detecte el sensor, anotar el valor de esta distancia.

**5.1.3.5** Devolver al punto inicial y mover el objeto de manera frontal hacia el sensor por lo menos una cuarta parte de la distancia que hay entre el objeto y el sensor (Llamar x a esta distancia), luego de estar en este punto mover el objeto de manera paralela a la cara del sensor hasta que ya no se presente variación a la salida.

**5.1.3.6** Repetir los pasos anteriores desplazando el objeto de manera frontal al sensor una distancia x hasta que ya el objeto llegue al sensor y registrar los valores obtenidos en cada ocasión.

En base a los datos obtenidos graficar una posible zona de detección como las que se observaron en la figuras 1 2 y 4, a la cual se le llamará zona de detección1.

**5.1.3.7** Ubicar el objeto de manera que quede a un lado del sensor, sin que haya detección, según la figura 1. Donde la distancia al sensor en el eje (y) es la distancia de detección máxima del sensor.

**5.1.3.8** Mover el objeto en el eje (x) tal como lo muestra la figura 1, anotar los valores de distancia para los cuales hay detección. Luego acercar el objeto en el eje (y) una cuarta parte de la distancia de detección máxima del sensor y repetir los pasos anteriores hasta que ya el objeto llegue hasta el sensor. Graficar también la zona de detección y llamarla zona de detección2.

¿Qué variaciones ocurre con respecto a la zona detección 1?

## 5.2 Medición de características dinámicas

### 5.2.2 Medición del tiempo de respuesta.

El tiempo de respuesta en este punto se calculará mediante una entrada Escalón provocada por la detección del objeto en un punto dentro del rango de detección.

**5.2.2.2** Desconectar el multímetro y conectar el osciloscopio. Acercar el objeto de manera que cause una entrada escalón en el sensor, registrar mediante el osciloscopio la salida, tomar la gráfica, repetir este procedimiento 5 veces en el mismo punto. Registrar el tiempo para el cual la salida entre en el 2% de su valor final (valor en estado estable).

Guardar la imagen ya que servirá para futuros cálculos.

**5.2.2.3** Ubicar el objeto dentro de la zona de detección del sensor, en este caso se debe quitar el objeto de la zona de detección de manera que cause una entrada escalón alto-bajo. Registrar los valores del punto anterior y escribir las diferencias entre el presente caso y el anterior con respecto a los valores obtenidos.

Guardar la imagen ya que servirá para futuros cálculos.

**5.2.3 Cálculo del tiempo de subida.**  
Con base a las gráficas del punto anterior calcular el tiempo de subida de manera experimental, registrando el tiempo para el cual la salida alcanza el 63 % de su valor pico.

**5.2.4 Cálculo de la constante de tiempo.**

Esta constante se puede calcular en base al criterio del 2 %, en el que la constante de tiempo es la cuarta parte del tiempo en el que la respuesta entra en el 2% de su respuesta final.

**5.2.5 Medición del sobre-pico de la señal de salida**

El sobrepico es el valor más alto en la salida, durante la respuesta transitoria menos el valor final, o el valor en estado estable.

En la mayoría de los casos se expresa como porcentaje, este valor puede ser hallado de la siguiente forma:

$$\%SP = \frac{V_p - V_f}{V_f} * 100$$

Calcular según esta fórmula y las gráficas obtenidos, el valor del porcentaje de sobrepico.

**5.3 Medición de características eléctricas**

**5.3.2 Medición de corriente de alimentación**

Poner el multímetro en modo de medición de corriente y conectarlo entre la fuente de alimentación y la entrada de alimentación del sensor (hacer que la corriente circule por el multímetro), registrar que ocurre con la corriente de alimentación cuando hay detección de elementos.

**5.4 Acercamiento oblicuo del objeto.**

Los sensores suelen presentar valores distintos según la forma del objeto a detectar, el material con el cual está construido como ya se vio anteriormente. En este paso se pretende hallar las diferencias entre los valores de la salida de un mismo sensor cuando el material a detectar se acerca de forma diferente.

**5.4.1** Girar el objeto 45° de manera horizontal y acercar al sensor desde fuera del rango de detección (desde donde no cause efecto en la salida del sensor, pero no tan lejos para que no demore tanto en llegar al rango de detección). Acercar el material cada 1 mm hasta que el sensor lo detecte, anotar la distancia a la cual fue detectado el objeto. Repetir este paso durante 5 veces más y encontrar las diferencias que existe entre las demás detecciones realizadas en la misma forma. La distancia de detección se registra con respecto a la distancia de la punta del objeto.

## **6. ANÁLISIS DEL SENSOR CAPACITIVO.**

**6.1** análisis de la dependencia de la detección con respecto al elemento en el detector capacitivo.

**6.1.1** Tomar dos materiales dieléctricos de la *caja de materiales para el módulo*, y determinar mediante la tabla 1. Que sus constantes dieléctricas tengan una diferencia apreciable.

**6.1.2** Acercar el material dieléctrico y observar a qué distancia se produce la detección.

**6.1.3** Acercar el otro material dieléctrico observar a qué distancia se produce la detección.

**6.1.4** Comparar el valor de distancia entre estos dos valores, y también entre el valor de detección nominal de este sensor (20 mm).

¿Se produce detección en ambos casos?

¿Qué aplicaciones le designaría a un sensor de este tipo?

**6.1.5** tomar los dos objetos del mismo material dentro de la *caja de materiales del módulo*. A pesar de que los objetos son del mismo material, son de tamaños diferentes.

**6.1.6** Repetir los pasos desde el 6.1.1 hasta el 6.1.4, y registrar los resultados obtenidos, registrar los valores obtenidos en uno u otro caso.

## **7. OBSERVACIONES Y CONCLUSIONES.**

## **8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.**

- [1] Allen Bradley. (Fundamentos del sensado o detección de presencia). Copyright 1999 Rocwell internacional. Publicación FSM-900las. Enero 2000. (manual de capacitación).
- [2] Benavides L., Villamizar R. Transductores de proximidad, Universidad Industrial DE Santander. 2001. (trabajo de grado).
- [3] Creus A. Instrumentación Industrial 6° ed. AlfaOmega (Boixerau editores) Marcombo. España 1997.
- [4] Mandado E., Marcos J., Fernández C., Armesto J., Perez S. Autómatas programables entorno y aplicaciones. 1ª ed. España: THOMSOM, 2006.
- [5] SIEMENS AG 2008. Catalogo FS 10.2008.

# PRÁCTICA 3. CARACTERÍSTICAS DE LOS SENSORES FOTOELÉCTRICOS Y ULTRASÓNICOS.

## 1. INTRODUCCIÓN.

Además de la detección de objetos, se requiere que los sensores puedan medir distancia, es por esto que se han desarrollado ciertos dispositivos que gracias a su principio de funcionamiento pueden detectar el material y calcular la posición del mismo. En esta práctica se presenta un dispositivo que realiza esta función mediante el principio de funcionamiento fotoeléctrico, el cual puede medir la distancia de objetos dentro de un rango determinado. Esta clase de dispositivos, cuenta también con características estáticas y dinámicas que se pueden determinar de manera experimental, sin embargo a diferencia de los sensores vistos en la práctica pasada, no solo existe un punto sino un rango de puntos, en donde cada punto arroja un valor proporcional a la distancia, es por esto que su análisis conlleva analizar otras características, también estáticas y dinámicas no consideradas en los denominados detectores de proximidad.

También se presentan en esta guía detectores con principio de funcionamiento ultrasónico, los cuales se destacan de los detectores capacitivos e inductivos en que poseen un rango de detección mucho más amplio y en que pueden detectar casi cualquier material.

Los sensores fotoeléctricos se presentan en el módulo didáctico en tres modelos denominados: tipo barrera, tipo réflex y autoréflex, teniendo cada uno de ellos también ciertas funciones especiales, las cuales le otorgan al sensor fotoeléctrico una gama de dispositivos bajo su principio de funcionamiento.

## 2. OBJETIVOS.

- Analizar el funcionamiento de los sensores ultrasónicos y fotoeléctricos, frente a determinados materiales.
- Encontrar los parámetros característicos de la medición efectuada con los sensores fotoeléctricos.
- Determinar las características estáticas y dinámicas del sensor laser de tipo fotoeléctrico. empleado para medición de distancia.
- Determinar posibles aplicaciones en la industria a partir del análisis realizado con los sensores fotoeléctricos y ultrasónicos.
- Determinar las ventajas y desventajas correspondientes a la utilización de los dos tipos de sensores en análisis, basándose en las distancias que ha detectado y en

el tipo de material entre otras características.

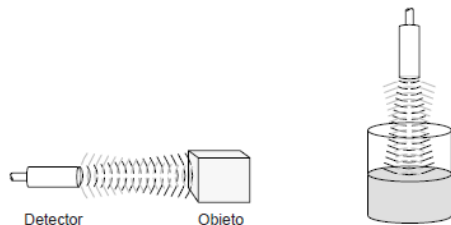
- Visualizar al sensor laser como parte de un proceso industrial, mediante el cálculo de sus características como instrumento de medición de distancia.

### 3. MARCO TEÓRICO.

#### 3.1 Sensor ultrasónico.

Los sensores ultrasónicos emiten un pulso de sonido que se refleja en los objetos que entran en el campo de ondas. El sensor recibe el sonido, o “eco”, y genera una señal de salida, analógica o digital, que será utilizada por un accionador, un controlador o una computadora.

**Figura 1.** Ondas sonoras que se reflejan en objetos sólidos y líquidos.



Tomada de [1] Pág. 7-1.

Los sensores ultrasónicos son capaces de detectar la mayoría de los objetos (metálicos o no metálicos, transparentes u opacos, líquidos, sólidos o granulares) que poseen una reflectividad acústica suficiente. Otra ventaja de este tipo de sensores es que se ven menos afectados por la condensación de humedad que los sensores fotoeléctricos. Uno de los

inconvenientes es que la detección de los materiales que absorben el sonido, como la tela, el caucho blando, la harina y la espuma, es deficiente.

#### 3.2 Componentes básicos de un sensor ultrasónico

Los sensores de proximidad ultrasónicos tienen cuatro componentes básicos:

- Transductor/receptor
- Comparador
- Circuito detector
- salida de estado sólido

**Transductor/receptor** El transductor ultrasónico emite pulsos en forma de ondas sonoras desde la cara del sensor. El transductor también recibe ecos de esas ondas cuando se reflejan en un objeto.

**Comparador y circuito detector** Cuando el sensor recibe el eco, el comparador calcula la distancia comparando los tiempos de emisión-recepción con la velocidad del sonido.

**Dispositivo interruptor de salida de estado sólido** La salida de estado sólido genera una señal eléctrica que se debe interpretar con un dispositivo de interface tal como un controlador lógico programable (PLC). La señal procedente de los sensores digitales indica la presencia o ausencia de un objeto en el campo de detección. La señal que proviene de los sensores analógicos indica la distancia a un objeto en el campo de detección.

### 3.3 Sensor fotoeléctrico.

Un sensor fotoeléctrico, es aquel que basa su principio de detección en el uso de la luz en sus diferentes longitudes de onda para percibir un objeto dentro de su rango de detección. Pueden detectar de diferentes maneras, una de ellas es por obstrucción de la luz, otra por iluminación, las dos anteriores solo detectan si el objeto esta o no esta, y otra de ellas es por intensidad, y en este caso se puede calcular distancia del objeto. Se usan también longitudes de onda.

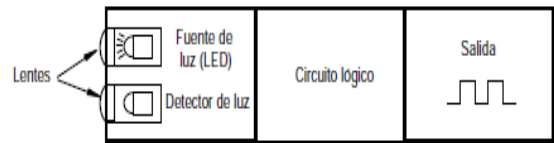
#### 3.3.1 Diseño de los sensores fotoeléctricos.

Una fuente de luz envía luz hacia un objeto. Un receptor de luz, dirigido hacia el mismo objeto, detecta la presencia o ausencia de luz directa o reflejada procedente de la fuente. La detección de esta luz genera una señal de salida (que puede ser analógica o digital) hacia un accionador, controlador o computadora. Algunos sensores modifican la señal de salida con lógica de temporización, escalas o ajustes de desplazamiento.

Los sensores fotoeléctricos constan de cinco componentes básicos:

- Fuente de luz
- Detector de luz
- Lentes
- Circuito lógico
- Salida

**Figura. 2** Componentes de un sensor fotoeléctrico.

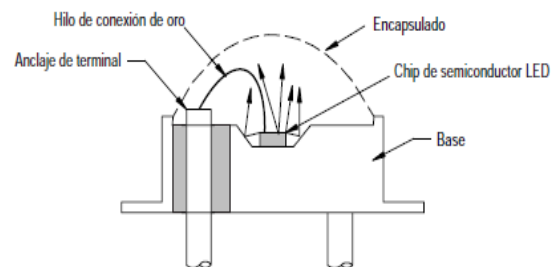


Tomada de [1] Pág. 7-2

### Componentes básicos

**Fuente de luz.** La mayoría de los sensores fotoeléctricos utilizan un diodo emisor de luz (LED) como fuente de luz. Los LED son semiconductores de estado sólido que emiten luz cuando se les aplica corriente y están diseñados para emitir longitudes de ondas específicas, o colores, de luz. En la mayoría de los sensores fotoeléctricos se utilizan LED infrarrojos o rojos, verdes y azules visibles. El LED y sus correspondientes circuitos reciben, en conjunto, el nombre de emisor.

**Figura 3** Diseño de un LED (diodo emisor de luz).



Tomada de [1] Pág. 7-2.

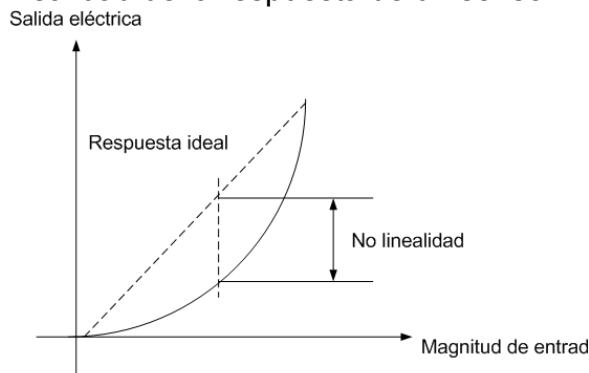
Cada color de LED ofrece características diferentes. Los infrarrojos son los más eficaces, ya que son los que más luz y menos calor generan y se utilizan en sensores en los que se necesita una salida de luz

máxima para un rango de detección extenso.

**Linealidad:** Se refiere a la relación entrada-salida, para que exista linealidad esta relación debería aproximarse a una línea recta. En donde existe por ende una relación de proporcionalidad.

La no linealidad (concepto opuesto a la linealidad), es la máxima desviación de la curva de calibración (es un tramo ascendente o descendente) respecto de la de la línea recta que une los puntos extremos correspondientes al 0% y al 100 % del valor fondo de escala.. [12] Pág. 11

**Figura. 4** Determinación de la no linealidad de la respuesta de un sensor.



Tomada de [8] pág. 500.

## PROCEDIMIENTO.

**ADVERTENCIA.** No observe de frente la cara de los sensores fotoeléctricos, cuando estén encendidos, aunque no perciba algún rayo de luz, ya que podría sufrir daños en sus ojos.

## 4. CARACTERIZACIÓN DEL SENSOR FOTOELÉCTRICO.

### 4.1 Detección de objetos transparentes.

Algunos sensores de tipo fotoeléctricos permiten captar cuando un objeto transparente entra en su zona de detección, es por esto que se les considera de gran importancia en algunas aplicaciones industriales, a continuación se realizará la detección de un elemento transparente.

**4.1.1** Tomar uno de los materiales transparentes de la caja y acercarlo al sensor fotoeléctrico tipo réflex (el que requiere de reflector), en un punto dentro de su rango de detección, observar en el multímetro y en el LED del sensor que ocurre cuando el objeto entra en el rango. Anotar si hay o no detección y de ser así especificar los puntos y los valores en los que hubo detección con valores significativos a la salida, si los valores se extienden por más de un metro de distancia, especificar solo 10 valores.

**4.1.2** Ubicar el objeto transparente más delgado y repetir el paso anterior, escribir las similitudes y diferencias entre esta y la anterior detección.

**4.1.3** Repetir los dos pasos anteriores con los demás sensores fotoeléctricos (réflex y autoréflex), incluso con el de tipo laser. Anotar el comportamiento que presentó cada sensor frente a los dos objetos.

### 4.2 Detección de objetos de colores.

Existen aplicaciones en las cuales se requiere que el sensor detecte objetos

de diferentes colores, es por esto que en este punto se plantea que el estudiante aproxime dos materiales del mismo color, frente a un mismo sensor fotoeléctrico y encuentre las diferencias que existen y si estas diferencias son significativas, tal que se puedan utilizar en alguna aplicación con la confianza del correcto funcionamiento.

**4.2.1** Tomar un objeto de color de color negro de los materiales dentro de la caja y ubicarlo dentro del rango de detección del sensor los cuatro sensores fotoeléctricos y observar que ocurre en cada uno de ellos.

**4.2.2** Tomar ahora el material de color blanco y repetir el paso anterior, hacer una tabla comparativa en la que se muestren los valores. Con los dos objetos en los puntos evaluados para cada sensor.

**Tabla 1.**

| Distancia | Valor de salida objeto color blanco | Valor de salida objeto color negro |
|-----------|-------------------------------------|------------------------------------|
|           |                                     |                                    |
|           |                                     |                                    |
|           |                                     |                                    |

¿Qué aplicaciones dentro de un proceso daría a un sensor que permita detección de colores?

**4.3 Detección en claro u oscuro.**

En este punto se pretende que el estudiante encuentre de manera experimental los sensores de tipo fotoeléctrico que permiten realizar este tipo de acción.

**4.3.1** Ubique delante del sensor fotoeléctrico autoréflex un objeto de cualquier color (puede utilizar los valores correspondientes al objeto de color blanco del punto anterior si tiene los valores), y ubicarlo en tres puntos dentro del rango registrando los valores de tensión a la salida.

**4.3.2** Apague la luz del recinto y realice el paso anterior, observe las diferencias que se encuentran entre los resultados del paso anterior y anote las diferencias en una tabla al igual que en el punto anterior.

**Tabla 2.**

| Distancia | Valor de salida ambiente claro | Valor de salida ambiente oscuro |
|-----------|--------------------------------|---------------------------------|
|           |                                |                                 |
|           |                                |                                 |
|           |                                |                                 |

**4.3.3** Desarrolle el punto anterior pero invirtiendo la polaridad del sensor y registre los valores de nuevo en la tabla.

**5. ANÁLISIS DEL SENSOR FOTOELECTRICO TIPO LASER.**

Cada grupo tomara un rango de 10 cm, el cual será asignado por el profesor encargado, de manera que se pueda cubrir un rango de 1m.

**5.1 Medición de características estáticas.**

**5.1.1 medición de sensibilidad.**

La sensibilidad se puede determinar de manera manual acercando el elemento al sensor cada cierta unidad de

distancia y revisar las variaciones que se obtienen a la salida del respectivo sensor.

**5.1.1.1** Conectar el multímetro, en manera de medición de corriente entre la salida del sensor laser y el visualizador.

Ubicar el objeto en unos de los límites que se asignó y mover el objeto una distancia de un milímetro como máximo, o aún menor de ser posible de manera pausada hasta que ocurra una variación significativa en la salida (del visualizador o del multímetro), hacer esto en todo el rango asignado y registrar los valores obtenidos calcular el mínimo y máximo paso en el que existió variación y anotar el valor obtenido en el multímetro.

Denominar el mínimo valor de sensibilidad como (x) y tenerlo en cuenta para los siguientes pasos de la guía.

**5.1.2 medición de repetibilidad. Exactitud, precisión, error.**

**5.1.2.1** Acercar un material de color blanco al límite del rango asignado y observar el valor obtenido en el multímetro, mover el objeto una distancia (x) por todo el rango y registrar los valores. Hacer esto hasta completar el rango asignado. Anotar los valores en cada punto, y repetir este paso 5 veces, en el mismo sentido que se efectuó la primera vez.

**5.1.2.2** Repetir el paso anterior en un sentido diferente al que se tomó en la medición anterior.

Tomar los valores, realizar cálculos correspondientes.

**5.1.3 Determinación de la histéresis.**

**5.1.3.1** Intercalar los dos pasos anteriores es decir cuando se llegue al final del rango en un sentido devolverse y registrar los datos, realizar también este paso unas cinco veces y hallar la diferencia máxima en cada punto, la cual se sabe de la práctica anterior que es la histéresis

Teniendo ya los datos registrados del paso anterior, realizar los cálculos para obtener la precisión, error, repetibilidad, con respecto al valor observado en el visualizador. En base a los valores calculados llenar la siguiente tabla:

**Tabla 3**

|               |  |
|---------------|--|
| Error         |  |
| Repetibilidad |  |
| Precisión     |  |
| Histéresis    |  |

**5.1.4 Medición de linealidad.**

A partir de la distancia detectada desplazar de manera frontal al sensor el objeto a detectar una distancia (x), hasta completar el rango asignado y registrar el valor obtenido para cada una de estas distancias, con base a estos datos calcular la curva que relaciona la entrada con la salida. Realizar este procedimiento 5 veces.

**5.1.5 Medición de corriente de alimentación.**

**5.1.5.1** Ponga el multímetro en posición de medición de corriente continua y conéctelo entre el borne positivo de alimentación del sensor y el

terminal positivo de la fuente de alimentación, registrar que ocurre con la corriente de alimentación cuando el objeto se desplaza a lo largo del rango a detectar.

**5.1.5.2** Conectar ahora el multímetro igual que en el caso anterior en modo de medición de corriente continua, pero esta vez entre el visualizador y el sensor, y repetir el paso anterior.

¿Si varía la corriente entre 4 y 20 mA?

## **6 CARACTERIZACIÓN DEL SENSOR ULTRASÓNICO.**

### **6.1 Detección de objetos con el sensor ultrasónico.**

El sensor ultrasónico no distingue de materiales, pero en algunos casos la textura y la forma hace que la detección arroje resultados erróneos. En esta ocasión se quiere que el estudiante experimente mediante el acercamiento de diferentes materiales y encuentre si el sensor ultrasónico puede o no detectarlos.

Antes de empezar con esta primera práctica se deben girar por completo en sentido de las manecillas del reloj los dos potenciómetros del sensor ultrasónico.

**6.1.1** Ubicar en tres puntos distintos uno de los objetos sólidos de la *caja de materiales para el módulo* (a 1m, 50 cm y 30cm), y observar que ocurre a la salida de este sensor, igual que en caso de las guías anteriores, registrar los valores obtenidos y comparar.

### **6.2 Detección de objetos en forma oblicua.**

**6.2.1** Girar horizontalmente el objeto 45° y repetir los dos pasos anteriores, registrar los valores y comparar. La distancia de detección se mide con respecto a la esquina del objeto que apunta hacia el sensor.

### **6.3 Variación de los límites inferior y superior del rango mediante el multímetro.**

**6.3.1** girar el potenciómetro de la derecha en sentido de las agujas del reloj y repetir el punto 6.1.1.

**6.3.2** el otro potenciómetro en el mismo sentido, y repetir el paso anterior, observar que ocurre y anotar las diferencias obtenidas.

**6.3.3** Acercar un objeto de manera paralela a la cara del sensor hasta observar que se produce detección. Anotar el valor de la posición en el cual se efectuó dicha detección.

**6.3.4** Devolver el potenciómetro más a la derecha a su posición inicial y repetir el paso anterior.

**6.3.5** Devolver el otro potenciómetro a su posición inicial y observar que ocurre, especificar en cada una de las detecciones, a qué distancia se detectó el objeto.

¿A qué se debe la detección de objetos, más o menos cerca a lado y lado del sensor?

¿Qué relación se encontró en esta prueba con respecto al alcance del dispositivo?

#### **6.4 Determinación de los efectos del tipo de material y de la posición.**

**6.4.1** Tomar el material de espuma dentro de la caja y repetir el punto 6.1.1, observar que diferencias existen en los valores detectados, y si existe o no detección.

**6.4.2** Tomar un trozo de tela de los materiales dentro de la caja y repetir el paso anterior, encontrar si se puede por lo menos un punto en el que exista detección.

**6.4.3** Variar radialmente la cara del objeto del punto 6.1.1 en unos 30° y observar si en los puntos ubicados a 1m a 50 cm y a 30 cm existe detección.

### **7 OBSERVACIONES Y CONCLUSIONES.**

### **8 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.**

[1]. Allen Bradley. (Fundamentos del sensado o detección de presencia). Copyright 1999 Rocwell internacional. Publicación FSM-900las. Enero 2000. (manual de capacitación).

[2] Benavides L., Villamizar R. Transductores de proximidad, Universidad Industrial DE Santander. 2001. (trabajo de grado).

[3] Creus A. Instrumentación Industrial 6° ed. AlfaOmega (Boixerau editores) Marcombo. España 1997.

[4] Mandado E., Marcos J., Fernández C., Armesto J., Perez S. Autómatas programables entorno y aplicaciones. 1ª ed. España: THOMSOM, 2006.

[5] SIEMENS AG 2008. Catalogo FS 10.2008.