

ESCUELA DE INGENIERÍA MINERA E INDUSTRIAL DE
ALMADÉN



TRABAJO FIN DE GRADO

SISTEMA DE CONTROL BASADO EN ARDUINO DE UNA PISCINA CLIMATIZADA

UNIVERSIDAD DE CASTILLA-LA MANCHA

GRADO EN INGENIERÍA ELÉCTRICA

Autor: Eduardo Valero Alonso

Director: Dr. Javier Albusac Jiménez

Curso: 2014-2015

"El futuro mostrará los resultados y juzgará a cada uno de acuerdo a sus logros".

Nicola Tesla.

RESUMEN

En el presente trabajo de fin de grado se ha diseñado e implementado un sistema de control basado en Arduino de una piscina climatizada.

El sistema utiliza una placa Arduino Mega 2560 a la que se han conectado diferentes elementos. Estos elementos son: Un sensor de temperatura, un sensor de ultrasonidos, un sensor de PH, un LCD, un sensor de infrarrojos, una fotorresistencia o LDR, un módulo reloj en tiempo real, un zumbador, tres relés, un regulador de potencia y varios leds y botones.

El sistema controla la temperatura del agua, el nivel del agua, la depuradora y la iluminación de la piscina. Además mide el PH del agua de la piscina e indica las variables medidas en un LCD.

El objetivo final del sistema es mantener la temperatura del agua a 25 °C, el nivel de agua a 12,74 litros (13 cm), activar la depuradora de la piscina a una determinada hora y encender la luz cuando la luminosidad ambiental sea baja y alguien entre en la piscina.

Para la consecución de tal objetivo ha sido necesaria la utilización de diferentes técnicas de control, como son, el control Todo-Nada y el control PID y la realización de varias pruebas experimentales con el fin de ajustar ciertos parámetros de control y verificar el correcto funcionamiento del sistema.

Palabras clave: Arduino Mega 2560, sensor de temperatura, sensor de ultrasonidos, sensor de infrarrojos, sensor de PH, regulador de potencia, control Todo-Nada, Control PID.

ABSTRACT

In this paper EOG has designed and implemented a control system based on Arduino a heated pool.

The system uses an Arduino Mega 2560 to which are connected various elements. These elements are: a temperature sensor, an ultrasonic sensor, a pH sensor, an LCD, an infrared sensor, a photoresistor or LDR, a clock module in real time, a buzzer, three relays, a power regulator and several LEDs and buttons.

The system controls the water temperature, water level, the water purifier and pool lighting. It also measures the pH of the pool water and indicates the variables measured on an LCD.

The ultimate goal of the system is to keep the water temperature at 25 ° C, the water level to 12.74 liters (13 cm), select the pool waterworks at a certain time and turn on the light when the ambient light is low and someone enters the pool.

To achieve this goal using different control techniques was necessary, such as the On-Off control and PID control and conducting several experimental tests in order to adjust certain parameters of control and verify proper operation of the system.

Keywords: Arduino Mega 2560, temperature sensor, ultrasonic sensor, infrared sensor, PH, power regulator, On-Off Control, PID control.

RESUMEN.....	3
ABSTRACT.....	4
1. INTRODUCCIÓN.....	17
2. OBJETIVOS.....	20
3. ESTADO DEL CONOCIMIENTO.....	23
3.1. Historia.....	23
3.2. Características de un sistema de control.	30
3.3. Configuraciones de un sistema de control.	31
3.3.1. Esquemas de un sistema de control genérico en lazo cerrado.....	32
3.4. Tipos de sistemas de control.....	34
3.4.1. Control Todo-Nada.....	34
3.4.2. Control Proporcional (Control P).	34
3.4.3. Control Integral.	35
3.4.4. Controlador Proporcional-Integral (Control PI).	36
3.4.5. Controlador Proporcional-Derivativo (Control PD).....	37
3.4.6. Controlador Proporcional-Integral-Derivativo (Control PID).....	39
3.5. Sintonización de un controlador PID.....	41
3.5.1. Método Analítico.....	41
3.5.2. Método de tanteo.	41
3.5.3. Método de ganancia limite.	42
3.5.4. Método de la curva de respuesta.....	43
3.6. Alternativas de sistemas de control.....	45
3.6.1. Control Adaptivo.	46
3.6.2. Control Robusto.....	46
3.6.3. Control Difuso.	47
3.7. Elementos de un Sistema de Control.	47
3.7.1. Controladores.	47
3.7.2. Sensores.....	53
3.7.3. Actuadores.....	65
3.7.4. Interfaces de operador.	70
3.8. Arduino.	71
3.8.1. Placas Arduino.....	72
3.8.2. Shield Arduino.....	79

3.8.3.	Sensores Arduino.....	82
3.8.4.	Actuadores Arduino.....	87
3.8.5.	Interfaces de operador de Arduino.	88
4.	SISTEMA DE CONTROL DE UNA PISCINA CLIMATIZADA.....	91
4.1.	Introducción.....	91
4.2.	Componentes del sistema de control.....	92
4.2.1.	Arduino Mega2560.....	93
4.2.2.	Sensor ultrasonidos HC-SR04.....	94
4.2.3.	Sensor de temperatura DS18B20.....	94
4.2.4.	Fotorresistencia LDR.....	95
4.2.5.	Sensor PIR.	95
4.2.6.	Modulo Reloj en tiempo real (Tiny RTC I2C DS1307).....	95
4.2.7.	Sensor de PH.	95
4.2.8.	Pantalla LCD 16x2.	96
4.2.9.	Módulo de Relés Arduino.	97
4.2.10.	Zumbador.....	97
4.2.11.	Bombas de Agua.....	97
4.2.12.	Flexo.	98
4.2.13.	Regulador de Potencia Kemo.....	99
4.2.14.	Resistencia calefactora 220 V/200 W.....	99
4.2.15.	Fuente de alimentación externa 240 Vac – 9 Vdc 1 A.	100
4.3.	Construcción maqueta piscina climatizada.....	101
4.4.	Control de Nivel de agua de la piscina climatizada.....	104
4.4.1.	Instalación del sistema de control de nivel de agua de la piscina climatizada.....	104
4.4.2.	Descripción funcional del control de nivel de agua de la piscina climatizada.....	108
4.4.3.	Esquema de instrumentación del control de nivel de agua de la piscina climatizada.....	109
4.4.4.	Esquema de conexionado del control de nivel de agua de la piscina climatizada.....	110
4.4.5.	Programación en Arduino del control de nivel de agua de la piscina climatizada.....	113
4.4.6.	Problemáticas encontradas en el control de nivel de agua de la piscina climatizada.....	119

4.4.7. Soluciones a las problemáticas encontradas en el control de nivel de agua de la piscina climatizada.....	119
4.5. Control de iluminación de la piscina climatizada.	121
4.5.1. Instalación del sistema de control de iluminación de la piscina climatizada.....	122
4.5.2. Descripción funcional del control de iluminación de la piscina climatizada.....	124
4.5.3. Esquema de instrumentación del control de iluminación de la piscina climatizada.....	125
4.5.4. Esquema de conexionado del control de iluminación de la piscina climatizada.....	126
4.5.5. Programación en Arduino del control de iluminación de la piscina climatizada.....	128
4.5.6. Problemáticas encontradas en el control de la iluminación de la piscina climatizada.....	131
4.5.7. Soluciones a las problemáticas encontradas en el control de iluminación de la piscina climatizada.....	131
4.6. Control de la depuradora de la piscina climatizada.	132
4.6.1. Instalación del sistema de control de la depuradora de la piscina climatizada.....	133
4.6.2. Descripción funcional del control de la depuradora de la piscina climatizada.....	135
4.6.3. Esquema de instrumentación del control de la depuradora de la piscina climatizada.....	136
4.6.4. Esquema de conexionado del control de la depuradora de la piscina climatizada.....	137
4.6.5. Programación en Arduino del control de la depuradora de la piscina climatizada.....	139
4.6.6. Problemáticas encontradas en el control de la depuradora de la piscina climatizada.....	143
4.6.7. Soluciones encontradas en el control de la depuradora de la piscina climatizada.....	143
4.7. Medida de PH del agua de la piscina climatizada.....	144
4.7.1. Instalación del sistema de medida de PH del agua de la piscina climatizada.....	145
4.7.2. Descripción funcional de la medida de PH del agua de la piscina climatizada.....	147

4.7.3.	Esquema de instrumentación de la medida de PH del agua de la piscina climatizada.....	147
4.7.4.	Esquema de conexionado de la medida de PH del agua de la piscina climatizada.....	148
4.7.5.	Programación de la medida de PH del agua de la piscina climatizada...	150
4.7.6.	Problemáticas de la medida de PH del agua de la piscina climatizada. .	151
4.7.7.	Soluciones a las problemáticas de la medida de PH del agua de la piscina climatizada.....	151
4.8.	Control de temperatura del agua de la piscina climatizada.....	152
4.8.1.	Instalación del sistema de control de temperatura del agua de la piscina climatizada.....	152
4.8.2.	Descripción funcional del control de temperatura del agua de la piscina climatizada.....	156
4.8.3.	Esquema de instrumentación del control de temperatura de la piscina climatizada.....	158
4.8.4.	Esquema de conexionado del control de temperatura del agua de la piscina climatizada.....	159
4.8.5.	Programación en Arduino del control de temperatura de la piscina climatizada.....	161
4.8.6.	Sintonización del control PID de temperatura del agua de la piscina climatizada.....	164
4.8.7.	Problemáticas del control de temperatura del agua de la piscina climatizada.....	165
4.8.8.	Soluciones a las problemáticas del control de temperatura del agua de la piscina climatizada.	166
4.9.	Control general de la piscina climatizada.	167
4.9.1.	Instalación del control general de la piscina climatizada.	167
4.9.2.	Descripción funcional del control general de la piscina climatizada.	168
4.9.3.	Esquema de instrumentación del control general de la piscina climatizada.	169
4.9.4.	Esquema de conexionado del control general de la piscina climatizada.	172
4.9.5.	Programación en Arduino del control general de la piscina climatizada.	174
4.9.6.	Problemáticas del control general de la piscina climatizada.	183
4.9.7.	Soluciones a las problemáticas del control general de la piscina climatizada.....	183
5.	RESULTADOS OBTENIDOS.	185

5.1.	Resultados del control de nivel de agua de la piscina climatizada.	185
5.2.	Resultados del control de iluminación de la piscina climatizada.	185
5.3.	Resultados del control de la depuradora de la piscina climatizada.....	186
5.4.	Resultados del sistema de medida de PH.....	186
5.5.	Resultados del control de temperatura de la piscina climatizada.	189
6.	ESTUDIO ECONOMICO.....	193
7.	CONCLUSIONES.....	199
8.	BIBLIOGRAFÍA.....	202

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Esquema del funcionamiento de una piscina.	17
Ilustración 2: Reloj de agua de Ktesibios.	23
Ilustración 3: Lámpara de Philon.....	24
Ilustración 4: Dispensador automático de vino I.	25
Ilustración 5: Dispensador automático de vino II.....	25
Ilustración 6: Odómetro de Herón.	26
Ilustración 7: Sistema de control de un molino de harina.	26
Ilustración 8: Incubadora de Drebbel.	27
Ilustración 9: Máquina de vapor con el regulador de Watt.	28
Ilustración 10: Regulador de vapor de Watt.....	28
Ilustración 11: Servomotor de Farcot.	29
Ilustración 12: Diagrama de bloque simple.	30
Ilustración 13: Bloques de representación de operaciones matemáticas.	30
Ilustración 14: Representación de un sistema de control.	31
Ilustración 15: Esquema de control en lazo abierto.....	31
Ilustración 16: Esquema de control en lazo cerrado.....	32
Ilustración 17: Esquema de control de un sistema de control genérico en lazo cerrado.	32
Ilustración 18: Esquema de instrumentación de un sistema de control genérico en lazo cerrado.	33
Ilustración 19: Respuesta temporal de un controlador proporcional.	35
Ilustración 20: Respuesta temporal de un controlador integral.	36
Ilustración 21: Respuesta temporal de un controlador PI.....	37
Ilustración 22: Respuesta temporal de un controlador PD.	38
Ilustración 23: Respuesta Temporal de un controlador PID.....	40
Ilustración 24: Diagrama de Bloques control PID.....	40
Ilustración 25: Esquema de control de un sistema de control genérico en lazo cerrado II.	47
Ilustración 26: Contactor y contactor auxiliar de Telemecanique.....	48
Ilustración 27: Autómata programable de la marca Siemens.....	49
Ilustración 28: Controlador digital de Temperatura de la marca Honeywell.	49
Ilustración 29: Ordenador Industrial de la marca Armagard.....	50
Ilustración 30: Tarjeta de Adquisición de Datos de National Instruments.....	51
Ilustración 31: Programación Gráfica en LABVIEW.	51
Ilustración 32: SCADA diseñado con LABVIEW para una máquina de ensayos de la EIMIA.....	52
Ilustración 33: Termorresistencias PT100.....	56
Ilustración 34: Termopar Tipo J.	57
Ilustración 35: Sensor LM35.	58
Ilustración 36: Termistores tipo NTC y tipo PTC.	58
Ilustración 37: Flotador magnético.....	59
Ilustración 38: Medidor de desplazamiento.....	60
Ilustración 39: Medida de nivel por ultrasonidos.	60

Ilustración 40: Medidores de nivel por ultrasonidos.	61
Ilustración 41: Finales de carrera.....	62
Ilustración 42: Detección por barrera.	62
Ilustración 43: Detección con réflex sobre espejo.....	63
Ilustración 44: Detección con réflex directo.....	63
Ilustración 45: Sensor de PH.	64
Ilustración 46: Contactor trifásico de la marca Siemens.	66
Ilustración 47: Contactor de potencia de la marca CHNT.....	66
Ilustración 48: Electroválvula de la marca TDRK.	67
Ilustración 49: Cilindro neumático de la marca FESTO.	67
Ilustración 50: Variador de frecuencia de la marca Schneider.....	68
Ilustración 51: Regulador de potencia de la marca Watlow.....	68
Ilustración 52: Válvula proporcional de la marca Genebre.....	69
Ilustración 53: Cilindros neumáticos proporcionales de la marca Camozzi.	70
Ilustración 54: Pantalla táctil de la marca Siemens.	71
Ilustración 55: Placa Arduino UNO.	72
Ilustración 56: Placa Arduino DUE.....	73
Ilustración 57: Placa Arduino ADK.	74
Ilustración 58: Placa Arduino Mega2560.....	75
Ilustración 59: Placa Arduino Nano.	75
Ilustración 60: Placa Arduino Leonardo.....	76
Ilustración 61: Placa Arduino YUN.	77
Ilustración 62: Placa Arduino Micro.	78
Ilustración 63: Placa Arduino Ethernet.	79
Ilustración 64: Shield GSM.	80
Ilustración 65: Shield Arduino Wifi.	81
Ilustración 66: Shield Arduino motor.....	81
Ilustración 67: Arduino XBee Shield.	82
Ilustración 68: Sensor de ultrasonidos HC-SR04.....	83
Ilustración 69: Sensor de temperatura DS18B20.	83
Ilustración 70: Sensor PIR Arduino I.	84
Ilustración 71: Circuito de acondicionamiento sensor LDR.	85
Ilustración 72: Sensor LDR.	85
Ilustración 73: Sensor de PH.	86
Ilustración 74: Modulo de reloj Tiny RTC I2C.....	87
Ilustración 75: Relé Arduino.	88
Ilustración 76: Pantalla LCD.	89
Ilustración 77: Zumbador Arduino.....	89
Ilustración 78: Programa Arduino.	91
Ilustración 79: Esquema de control del sistema automático de la piscina climatizada I.	92
Ilustración 80: Placa Arduino Mega2560 detallada.	93
Ilustración 81: Bomba de Agua para Acuario de la marca EHEIM.	98
Ilustración 82: Flexo.....	98

Ilustración 83: Regulador de potencia Kemo.	99
Ilustración 84: Resistencia calefactora 220 V/200 W.	100
Ilustración 85: Fuente de alimentación externa para Arduino.....	100
Ilustración 86: Cajas de plástico y grifo o válvula manual.	101
Ilustración 87: Herramientas utilizadas para construir la piscina climatizada.	101
Ilustración 88: Unión de las dos cajas de plástico.	102
Ilustración 89: Instalación grifo o válvula manual.	102
Ilustración 90: Maqueta piscina climatizada.	103
Ilustración 91: Esquema de control del sistema automático de nivel de agua de la piscina climatizada.....	104
Ilustración 92: Instalación bombas de agua.....	105
Ilustración 93: Instalación circuito de tuberías de la piscina climatizada.	105
Ilustración 94: Instalación sensor de ultrasonidos.....	106
Ilustración 95: Instalación del control de nivel de agua de la piscina de la piscina climatizada.....	107
Ilustración 96: Pantalla LCD en el control de nivel de agua de la piscina climatizada.....	108
Ilustración 97: Diagrama de flujo del control de nivel de agua de la piscina climatizada.	109
Ilustración 98: Esquema de instrumentación del control de nivel de agua de la piscina climatizada.....	110
Ilustración 99: Esquema de conexionado del control de nivel de la piscina climatizada.	111
Ilustración 100: Esquema electrónico de fuente de alimentación fija de 5 Vdc.....	119
Ilustración 101: Fuente de alimentación fija de 5 Vdc.....	120
Ilustración 102: Esquema de control del sistema automático de iluminación de la piscina climatizada.....	121
Ilustración 103: Instalación flexo.	122
Ilustración 104: Instalación del control de iluminación de la piscina climatizada.....	123
Ilustración 105: Pantalla LCD en el control de iluminación de la piscina climatizada.....	124
Ilustración 106: Diagrama de flujo del control de iluminación de la piscina climatizada.	125
Ilustración 107: Esquema de instrumentación control de iluminación de la piscina climatizada.....	125
Ilustración 108: Esquema de conexionado del control de iluminación de la piscina climatizada.....	127
Ilustración 109: Sensor PIR Arduino II.....	131
Ilustración 110: Esquema de control del sistema automático de la depuradora de la piscina climatizada.	132
Ilustración 111: Materiales y herramientas para soldar pines en el módulo reloj DS1307.	133
Ilustración 112: Instalación del control de la depuradora de la piscina climatizada. ...	134
Ilustración 113: Pantalla LCD de la depuradora de la piscina climatizada.	135
Ilustración 114: Diagrama de flujo del control de la depuradora de la piscina climatizada.....	136

Ilustración 115: Esquema de instrumentación del control de la depuradora de la piscina climatizada.....	137
Ilustración 116: Esquema de conexionado del control de la depuradora de la piscina climatizada.....	138
Ilustración 117: Pantalla instalación librería.	140
Ilustración 118: Esquema del sistema de medida de PH del agua de la piscina climatizada.....	144
Ilustración 119: Instalación del sensor de PH.	145
Ilustración 120: Instalación medida de PH del agua de la piscina climatizada.	146
Ilustración 121: Pantalla LCD de la medida de PH del agua de la piscina climatizada.	147
Ilustración 122: Esquema de instrumentación del sistema de medida de PH.	147
Ilustración 123: Esquema de conexionado de la medida de PH del agua de la piscina climatizada.....	149
Ilustración 124: Placa electrónica del sensor de PH.....	151
Ilustración 125: Esquema de control del sistema automático de temperatura del agua.	152
Ilustración 126: Esquema de conexionado del regulador de potencia KEMO.....	153
Ilustración 127: Montaje del regulador de potencia Kemo.	153
Ilustración 128: Instalación del sensor de temperatura DS18B20 y de la resistencia calefactora.....	154
Ilustración 129: Instalación del sistema de control de temperatura del agua de la piscina climatizada.....	155
Ilustración 130: Pantalla LCD del control de temperatura del agua de la piscina climatizada.....	158
Ilustración 131: Diagrama de flujo del control de temperatura del agua de la piscina climatizada.....	158
Ilustración 132: Esquema de instrumentación del control de temperatura del agua. ...	159
Ilustración 133: Esquema de conexionado del control de temperatura del agua de la piscina climatizada.	160
Ilustración 134: Zumbador repuesto.....	166
Ilustración 135: Esquema de control del sistema automático de la piscina climatizada II.	167
Ilustración 136: Diagrama de flujo entre el control de nivel y el control de temperatura.	168
Ilustración 137: Esquema de instrumentación del control general de la piscina climatizada.....	170
Ilustración 138: Esquema de conexionado del control general.	173
Ilustración 139: Prueba Agua.	186
Ilustración 140: Pantalla LCD medida PH agua.....	187
Ilustración 141: Prueba leche.	187
Ilustración 142: Pantalla LCD medida PH leche.....	187
Ilustración 143: Prueba Coca-Cola.....	188
Ilustración 144: Pantalla LCD medida PH Coca-Cola.	188

Ilustración 145: Termostato SIEMENS.....	189
Ilustración 146: Pantalla LCD con la medida del sensor de temperatura DS18B20....	189

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Parámetros del regulador PID según el método de ganancia límite.....	42
Tabla 2: Posibilidades de regulación en función de la curva de respuesta.....	45
Tabla 3: Parámetros del regulador PID según el método de la curva de respuesta.....	45
Tabla 4: Características principales de los diferentes materiales de las termorresistencias.....	56
Tabla 5: Características principales de los diferentes materiales de los termopares.....	57
Tabla 6: Pines Pantalla LCD 16x2.....	96
Tabla 7: Conexiones pantalla LCD y placa Arduino Mega2560.....	113
Tabla 8: Resultados obtenidos en el control de nivel de agua de la piscina climatizada.....	185
Tabla 9: Resultados obtenidos en el control de iluminación de la piscina climatizada.....	185
Tabla 10: Horas trabajadas y precio total.....	196
Tabla 11: Horas dedicadas a cada sección del proyecto y precio.....	196
Tabla 12: Presupuesto aproximado de una piscina climatizada de uso particular.....	197

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1: Gráfica de un proceso de orden 1.....	44
Gráfica 2: Gráfica de un proceso de orden 2.....	44
Gráfica 3: Gráfica control PID de temperatura I.....	164
Gráfica 4: Gráfica control PID de temperatura II.....	165
Gráfica 5: Gráfica prueba de control de temperatura I.....	190
Gráfica 6: Gráfica prueba de control de temperatura II.....	190

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN.

Conceptualmente, las piscinas son bastante simples, son solo grandes cubetas de agua que se suelen usar en verano sin ningún tipo de control en la temperatura, nivel, PH y limpieza del agua. Pero la realidad no es esa, en los últimos años debido a la continua búsqueda del bienestar y del confort por parte de la sociedad, se han implantado en muchas casas y bloques de viviendas piscinas climatizadas con complejos sistemas de control.

Una piscina climatizada típica necesita ocho componentes principales: Una cubeta, una o varias bombas motorizadas, filtros de agua, un alimentador químico, desagües, devoluciones de agua, tuberías de plástico PVC que conectan todos estos elementos y un sistema de control que es donde se va a centrar nuestro trabajo.

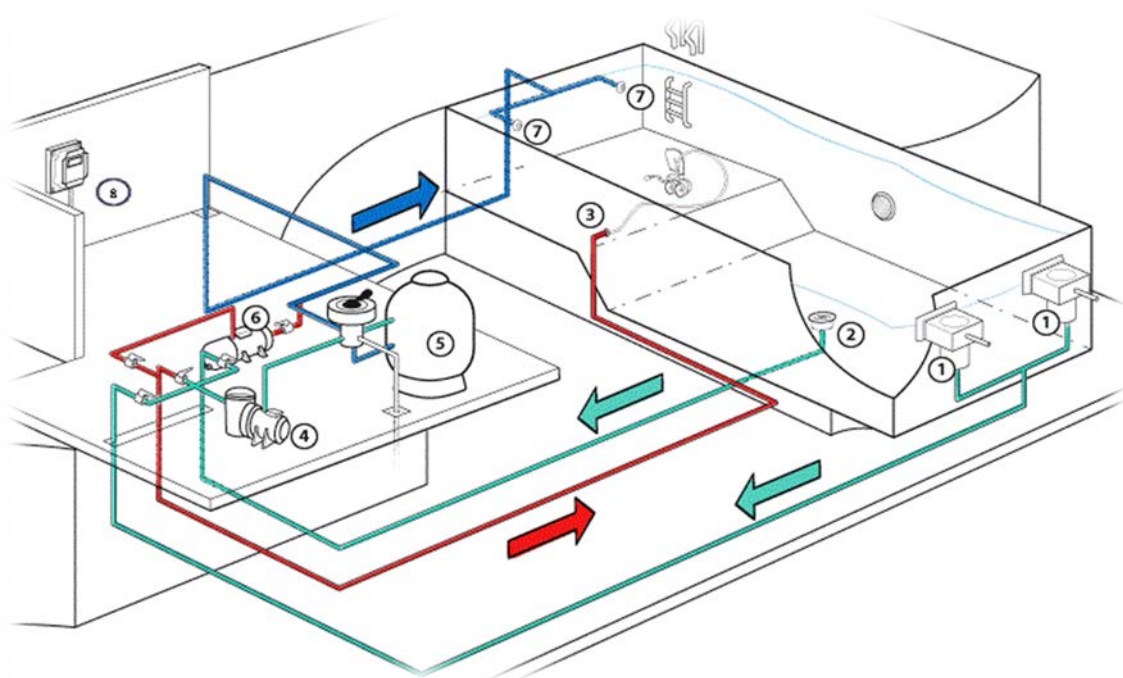


Ilustración 1: Esquema del funcionamiento de una piscina.

- 1- Boca de succión llamada Skimmer que permite filtrar el agua.
- 2- Desagüe.
- 3- Toma de limpieza para limpiafondos.
- 4- Bomba de filtración.
- 5- Filtro de agua.
- 6- Bomba de sobrepresión.
- 7- Boquillas de impulsión para devolver el agua limpia o para impulsar agua nueva.
- 8- Cuadro de control.

En la mayoría de los casos, los sistemas de control instalados en las piscinas climatizadas son muy costosos, muy difíciles de instalar y operar con ellos, poco eficientes y grandes consumidores de energía. No cumpliendo de esta manera los requisitos que debe cumplir un sistema de control ideal.

En este proyecto se tratará de construir un sistema de control de una piscina climatizada de bajo coste, fácilmente implementable, cómodo de operar y tan eficiente como sea posible, según un criterio establecido. Normalmente este criterio consiste en que la acción de control sobre las variables de entrada sea realizable, evitando comportamientos bruscos e irreales. Para ello se utilizarán dispositivos de la plataforma Arduino debido a su bajo coste, eficiencia y facilidad a la hora de trabajar con ellos. También se utilizará una pequeña pantalla LCD y varios botones como interfaz de operador, para que el sistema de control sea cómodo de operar.

Además se emplearán técnicas de control precisas para lograr un sistema de control estable y robusto frente a perturbaciones y errores.

Por último, decir que para la realización de dicho proyecto, se han aplicado los conocimientos que se han ido adquiriendo a lo largo de estos 4 años en la obtención del título de Grado en Ingeniería Eléctrica, en la Escuela de Ingeniería Minera e Industrial de Almadén, conocimientos de informática (programación en Arduino), conocimientos de electrónica y electricidad (sensores, actuadores y controladores) en las siguientes asignaturas:

- Informática (programación y realización de programas para el control de la piscina climatizada).
- Electrónica (para la elección de sensores, componentes electrónicos y la conexión de los mismos).
- Ciencia de los materiales (en la elección de los materiales adecuados).
- Tecnología Eléctrica y Teoría de Circuitos (a la hora de hacer el sistema de alimentación de los componentes).
- Domótica (al tener Arduino en nuestro proyecto).
- Regulación Automática (para la elección de las técnicas de regulación).
- Instrumentación Industrial (para la elección de los sensores y programas informáticos).

CAPÍTULO 2: OBJETIVOS

2. OBJETIVOS.

La realización de este proyecto está enfocada a la aplicación de las competencias generales de la titulación de Ingeniería Eléctrica en el diseño e implementación de un sistema de control basado en Arduino.

Se trata de diseñar e implementar un sistema de control basado en Arduino de una piscina climatizada.

El sistema de control deberá controlar la temperatura del agua, nivel del agua y la iluminación de la piscina, Además de medir el PH del agua, depurar el agua y registrar todas las variables medidas y controladas en una pantalla LCD.

Para cumplir los objetivos generales expuestos anteriormente, es necesario satisfacer los siguientes puntos:

1. **Diseño y construcción desde cero de una maqueta que simule a una piscina climatizada de uso particular:** Se deberán elegir materiales y herramientas para la construcción de una pequeña cubeta de agua que simule una piscina climatizada.
2. **Diseño e implementación del control de nivel de la piscina climatizada:** Se deberán elegir, instalar y cablear los controladores, sensores, actuadores e interfaces de operador que sean más económicos pero que a su vez consigan el objetivo de controlar el nivel de agua de la piscina climatizada, es decir, que haya un equilibrio entre calidad-precio.
3. **Definición del comportamiento del control de nivel de la piscina climatizada:** Se aplicará un control Todo-Nada para regular el nivel de agua de la piscina y conseguir la cantidad deseada de agua.
4. **Diseño e implementación del control de iluminación de la piscina climatizada:** Se deberán elegir, instalar y cablear los controladores, sensores, actuadores e interfaces de operador que sean más económicos pero que a su vez consigan el objetivo de controlar la iluminación de la piscina climatizada, es decir, que haya un equilibrio entre calidad-precio.
5. **Definición del comportamiento del control de iluminación de la piscina climatizada:** Se aplicará un control Todo-Nada que encenderá o apagará las luces de la piscina, dependiendo de la luminosidad ambiental y de la presencia o no de gente.
6. **Diseño e implementación del control de la depuradora de la piscina climatizada:** Se deberán elegir, instalar y cablear los controladores, sensores, actuadores e interfaces de operador que sean más económicos pero que a su vez consigan el objetivo de controlar la depuradora de la piscina climatizada, es decir, que haya un equilibrio entre calidad-precio.
7. **Definición del comportamiento del control de la depuradora de la piscina climatizada:** Se aplicará un control Todo-Nada que activará o desactivará la depuradora de la piscina climatizada, dependiendo de la hora que sea.

8. **Diseño e implementación del sistema de medida de PH:** Se deberán elegir, instalar y cablear los sensores e interfaces de operador que sean más económicos pero que a su vez consigan el objetivo de medir el PH del agua de la piscina climatizada, es decir, que haya un equilibrio entre calidad-precio.
9. **Diseño e implementación del control de temperatura del agua de la piscina climatizada:** Se deberán elegir, instalar y cablear los controladores, sensores, actuadores e interfaces de operador que sean más económicos pero que a su vez consigan el objetivo de controlar la temperatura del agua de la piscina climatizada, es decir, que haya un equilibrio entre calidad-precio.
10. **Definición del comportamiento del control de temperatura del agua de la piscina climatizada:** Se aplicara un control PID que regulara de forma precisa la temperatura del agua de la piscina.
11. **Definición del comportamiento general del sistema de control:** Se estudiará cada uno de los sistemas de control al detalle y se determinará cual será el comportamiento general del sistema de control que mejor cumple con las exigencias del proyecto. Esto se hará aplicando diferentes condiciones en la programación del controlador.

CAPÍTULO 3: ESTADO DEL CONOCIMIENTO

3. ESTADO DEL CONOCIMIENTO.

3.1. Historia.

El control es una materia de gran utilidad en la ingeniería y la ciencia. Ha sido vital en el desarrollo de la tecnología y del mundo, ya que ha proporcionado calidad de vida y bienestar al ser humano.

El hombre ha utilizado el control con fines muy variados a lo largo del tiempo. Los griegos antes de Cristo utilizaban sistemas de control de nivel de líquidos. Hay que destacar los sistemas de control diseñados por Ktesibios, Philon y Herón.

Ktesibios diseñó un reloj de agua, también llamado Clepsydra. Las clepsydrias consistían en un mecanismo cuyo objetivo era que el nivel de un depósito de agua subiera con una velocidad constante. Para lo cual se utilizaba un flotador que regulaba la entrada de agua a un depósito auxiliar de manera que el nivel de este se mantenía constante y por lo tanto su caudal de salida al depósito principal. El documento más antiguo encontrado donde se menciona el uso de una Clepsydra es el registro de un procedimiento judicial donde se le nombra como una herramienta para asegurar que ambas partes disponen del mismo tiempo para las alegaciones finales.

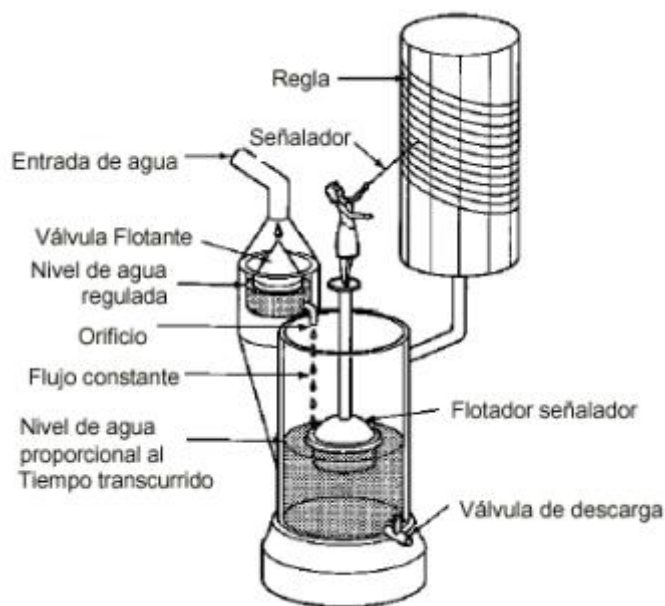


Ilustración 2: Reloj de agua de Ktesibios.

Philon de Bizancio, construyó un sistema de regulación de nivel de una lámpara de aceite. Al quemarse el aceite de la lámpara, el nivel del depósito de aceite bajaba haciendo que entrara aire en otro depósito de forma que este suministraba más aceite al depósito de la lámpara.

En la ilustración 3 se observa el ingenio de Philon. Cuando se consume el aceite del depósito de la base de la lámpara a través de *b*, entra aire en el depósito, el cual evacua aceite a través de *d*. En el instante en que el depósito se llene dejará de entrar aire en *a* y dejará de salir aceite por *d*. Con este sistema no se conseguía un nivel constante en el depósito pero se aseguraba la recarga de este cuando el aceite se iba consumiendo.

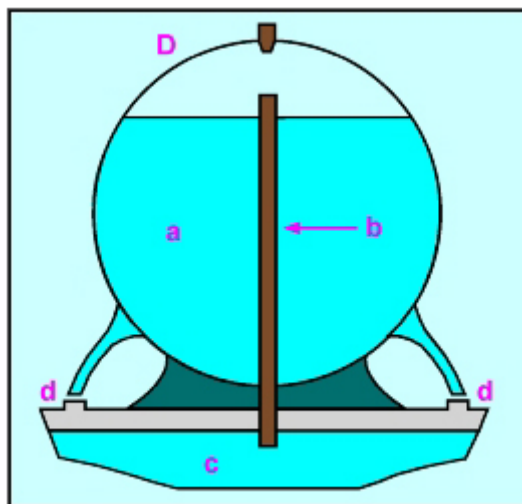


Ilustración 3: Lámpara de Philon.

En el siglo I A.C, Herón de Alejandría escribió “*Pneumatica*” y “*Autómata*”. En el primero describe varios sistemas realimentados y en el segundo presenta complicados aparatos que ejecutan un programa fijo.

Unos de los primeros sistemas realimentados de la historia son los dispensadores de vino cuyo funcionamiento se describe en los libros de Herón. El que se observa en la ilustración 4 se basaba en el principio de los vasos comunicantes y conseguía que el volumen de vino suministrado fuera constante. La válvula *f* permanecía abierta hasta que el sensor (el flotador) la cerraba por el efecto de los vasos comunicantes. Solo había que subir o bajar el nivel del flotador para decidir el nivel del depósito *a*.

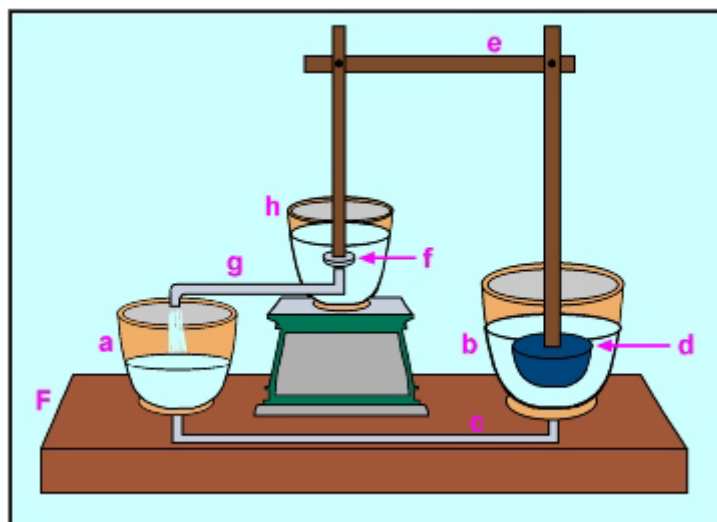


Ilustración 4: Dispensador automático de vino I.

La ilustración 5 también fue diseñada por Herón. El vino era servido desde un recipiente *a* que se comunicaba con otro recipiente *c* por medio de un vaso comunicante. De forma que cuando se cogía vino de *a*, el nivel de *c* bajaba y el flotador *d* abría la válvula. Entonces el vino caía dentro de *c* procedente de un gran depósito *e*, hasta que la altura de *a* y *c* hacían que el flotador volviera a tapar la válvula.

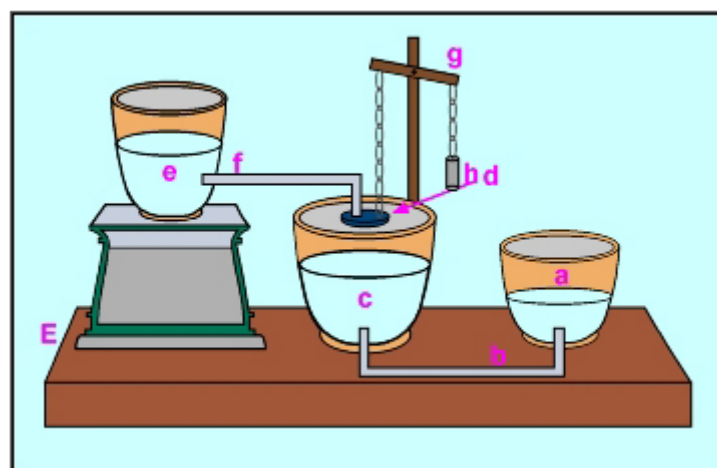


Ilustración 5: Dispensador automático de vino II.

Herón también construye un odómetro, un instrumento utilizado para medir la distancia recorrida por un vehículo. El sistema utilizado era muy ingenioso y consistía en una transmisión que cada vez que daba una vuelta la rueda final caía una bola en un contenedor. Solo había que contar el número de bolas para conocer la distancia recorrida.

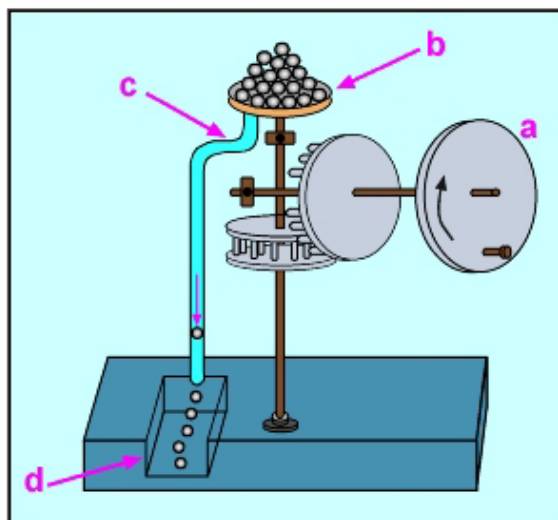


Ilustración 6: Odómetro de Herón.

En la Edad Media se crean importantes sistemas de control, pero en el campo de los sistemas de control con realimentación existen pocos desarrollos, solamente cabría resaltar la realización de un sistema de control de un molino de harina realizado por H.U. Lansperg hacia el 1200, de forma que la cantidad de grano suministrada al molino dependía de la fuerza del viento y la dureza del propio grano, permitiendo que el sistema funcionara en condiciones óptimas.

Este distribuidor de grano es considerado como uno de los reguladores de la historia. Su funcionamiento era muy sencillo e ingenioso. El grano llegaba a la rueda de molienda a través de un alimentador con una pendiente muy pequeña, de forma que el grano no se movía si el alimentador estaba en reposo.

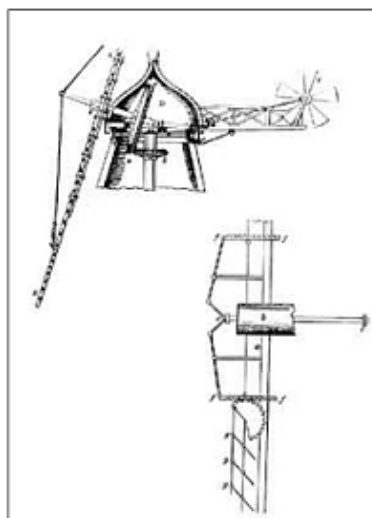


Ilustración 7: Sistema de control de un molino de harina.

El eje de la rueda moledora tenía una serie de aristas que golpeaban el alimentador. A cada golpe caía una pequeña cantidad de grano de forma que cuanto mayor fuera la velocidad del viento mayor era la cantidad de grano.

En el siglo XVII aparecen diversos sistemas de control de temperatura, entre ellos los aplicados en el horno y la incubadora de Drebbel. El principio utilizado en la regulación de temperatura es el siguiente. Si la temperatura del horno sube, se dilata el contenido de un depósito de alcohol de forma que se desplaza un juego de palancas que abre un orificio de salida de gases.

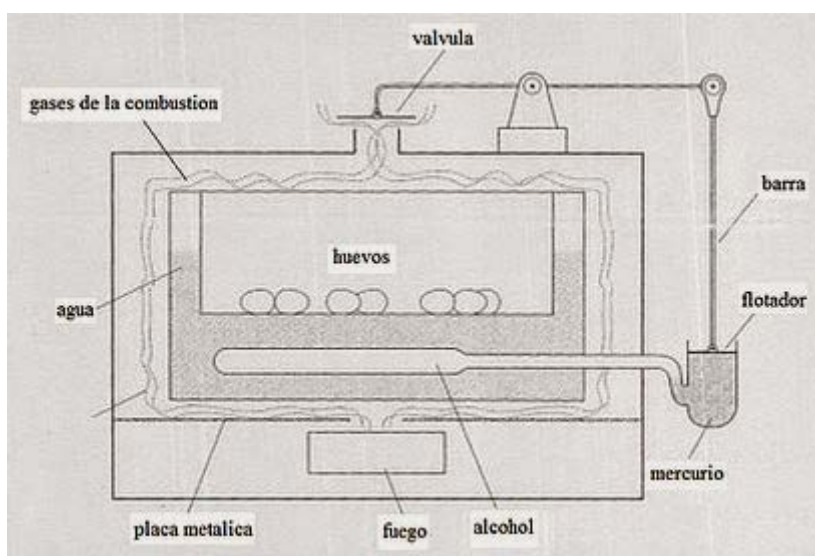


Ilustración 8: Incubadora de Drebbel.

En el año 1745, E.Lee inventa un sistema para controlar automáticamente la orientación e inclinación de las aspas de los molinos de viento, de modo que se aprovechara mejor la dirección del viento. Se trataba del primer servomecanismo de posición.

En el Renacimiento, el físico e inventor francés Denis Papín desarrolló un motor de pistón, utilizado para bombear agua, que aprovechaba la presión del vapor producido al calentar una pequeña cantidad de agua en una caldera.

En el siglo XVII se empezaron a desarrollar las primeras máquinas de vapor. Las primeras máquinas de vapor chocaron con la falta de profesionales, de técnicas de construcción y de materiales apropiados. En 1712 Thomas Newcomen y Thomas Savery construyeron la primera máquina de vapor. La máquina recibió muchas críticas por su elevado consumo de carbón y por el fuerte desgaste de sus componentes.

Desarrollada la máquina de vapor se necesitaba una técnica que controlase tan enorme fuerza y energía. James Watt proporcionó a la industria el regulador de bolas, que fue la

forma de controlar la energía mecánica proporcionada por el vapor. Este invento tuvo una repercusión enorme en el desarrollo de las industrias de fabricación y locomoción.

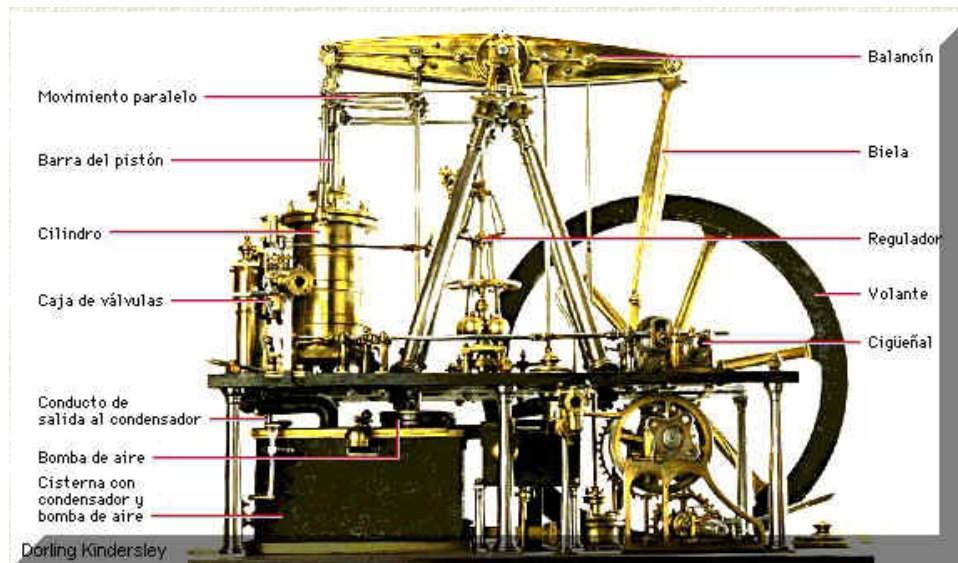


Ilustración 9: Máquina de vapor con el regulador de Watt.

El funcionamiento del regulador de bolas, consiste en el gobierno de la válvula que controla el paso de vapor, mediante un sistema capaz de medir la velocidad de giro de la máquina.

A mayor velocidad, el efecto del sistema de bolas es el de separarse del eje de giro, con lo que se produce un acortamiento de la distancia entre sus brazos de sujeción. Este movimiento lineal es aprovechado por un sistema de palancas, que permite cerrar la válvula de paso de vapor.

Con este sistema se consigue eliminar el embalamiento indeseado de la máquina, pues cuanto mayor es la velocidad, menor será el paso de vapor, y por lo tanto la fuerza del cilindro que es quien impulsa a la rueda a girar.

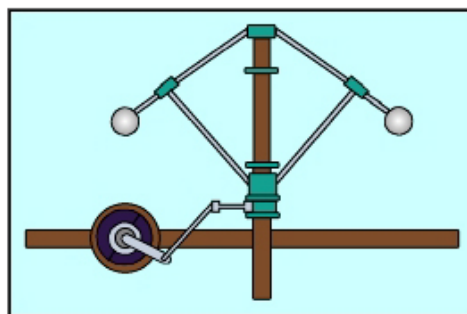


Ilustración 10: Regulador de vapor de Watt.

En los primeros años 70 del siglo XIX, una vez caducada la patente de Watt, se realizaron grandes esfuerzos por mejorar el diseño de los reguladores, muchos de ellos con el objetivo de reducir el offset presente en el ingenio de Watt. Ejemplos de estos ingenios son los reguladores (Governors) patentados por Williams Siemens en 1846 y 1853, que sustituyeron la acción proporcional por la acción integral.

A lo largo del siglo XIX se siguen desarrollando reguladores de temperatura, como el de Ure (1830), y reguladores de velocidad para turbinas de agua diseñados por Woodward en 1870.

En la década de los 1860 M.J. Farcot diseña un regulador centrífugo de alta sensibilidad cuya señal de salida era suficiente para controlar un pequeño cilindro de doble pistón que inyectaba vapor a una de las dos caras del pistón de otro cilindro de potencia de diámetro mayor.

Farcot denominó su invento como “Servomoteur, ou moteur asservi” y de aquí se origina el término servomotor.

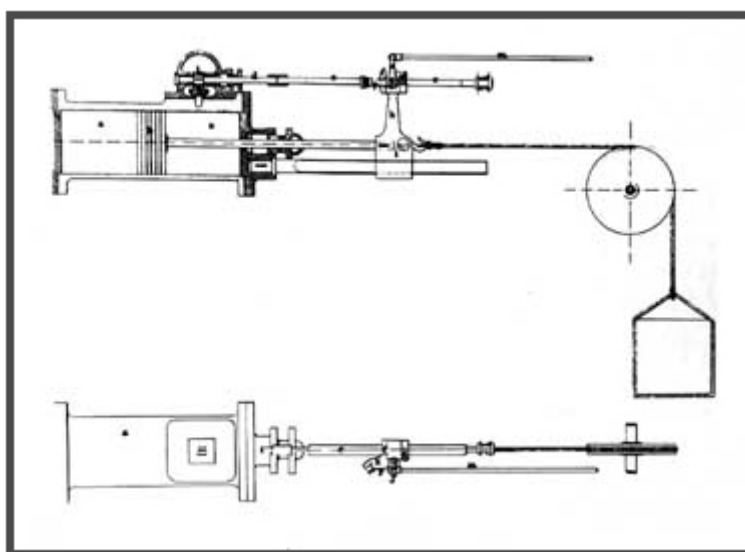


Ilustración 11: Servomotor de Farcot.

Los sistemas mecánicos se desarrollan hasta 1900, entonces son superados por sistemas hidráulicos, para más adelante estos últimos ser superados por los motores eléctricos y la electrónica, los cuales son los que desarrollan los sistemas de control en la actualidad.

Hoy en día el uso de los sistemas de control es muy diverso. En la industria encontramos numerosos usos para los sistemas de control. Pero los sistemas de control no están limitados a la ciencia o la industria. Podemos encontrar diversos sistemas de control en nuestras casas. Por ejemplo la calefacción, la lavadora, el lavavajillas...etc. cuentan con sistemas de control integrados [1, 2].

3.2. Características de un sistema de control.

Un sistema de control es un conjunto de dispositivos encargados de administrar, ordenar, dirigir o regular el comportamiento de un proceso [8, 9]. En este caso el proceso es controlar el nivel de agua, temperatura del agua y luz de una piscina climatizada.

Los sistemas de control se pueden representar en forma de diagramas de bloques, en los que se ofrece una expresión visual y simplificada de las relaciones entre la entrada y la salida de un sistema físico. A cada componente del sistema de control se le denomina elemento, y se representa por medio de un rectángulo.

El diagrama de bloques más sencillo es el bloque simple, que consta de una sola entrada y de una sola salida. La interacción entre los bloques se representa por medio de flechas que indican el sentido de flujo de la información.



Ilustración 12: Diagrama de bloque simple.

En estos diagramas es posible realizar operaciones de adición y de sustracción, que se representan por un pequeño círculo en el que la salida es la suma algebraica de las entradas con sus signos. También se pueden representar las operaciones matemáticas de multiplicación y división como se muestra en la siguiente figura:

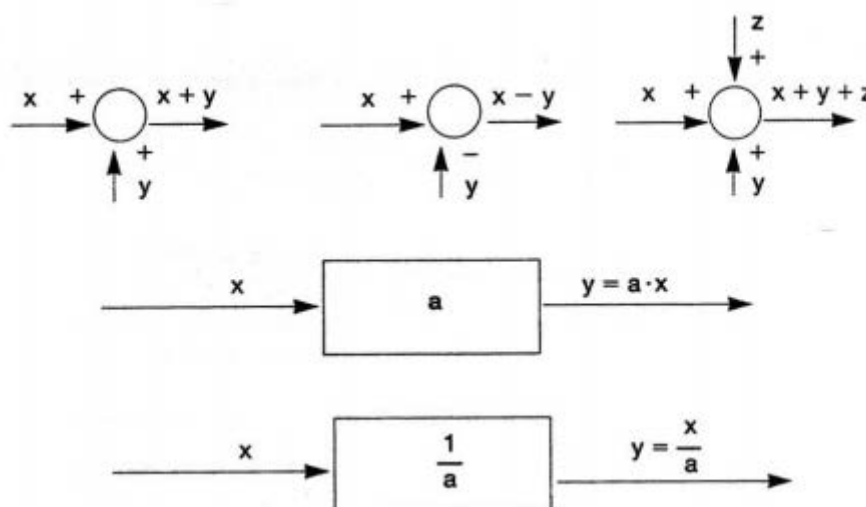


Ilustración 13: Bloques de representación de operaciones matemáticas.

Un sistema de control produce una salida o respuesta para una entrada o un estímulo dado, como se muestra en la ilustración 14.

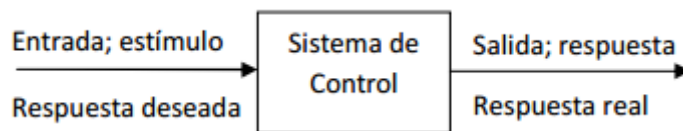


Ilustración 14: Representación de un sistema de control.

La entrada representa una respuesta deseada y la salida representa una respuesta real. Existen dos factores que hacen que la salida sea diferente a la entrada. El primero se conoce como respuesta transitoria, el cual está presente cuando existe un cambio instantáneo de la entrada con respecto al cambio gradual de la salida. Después de la respuesta transitoria, un sistema físico aproxima su respuesta en estado estable, en donde trata de aproximarse a la respuesta deseada.

La precisión es el segundo factor que puede ocasionar que la salida sea diferente a la entrada. Esta diferencia es conocida como error en estado estable y en ocasiones depende de las características físicas del dispositivo[3].

3.3. Configuraciones de un sistema de control.

Existen dos configuraciones de sistemas de control: lazo abierto y lazo cerrado. En un sistema de control de lazo abierto la salida siempre se rige por la señal de entrada y no es capaz de realizar compensaciones a las perturbaciones que se suman a la señal de actuación del controlador, esto se debe a que carece de una retroalimentación [3, 8].

Un ejemplo práctico es una lavadora automática: el remojo, el centrifugado y el lavado operan con una base de tiempo. La máquina no mide la señal de salida, la limpieza de la ropa, etc.

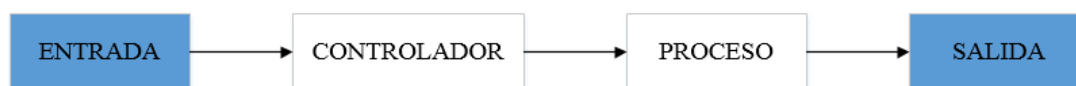


Ilustración 15: Esquema de control en lazo abierto.

Un sistema de control de lazo cerrado mide la señal de la respuesta de salida y la compara con la señal de la respuesta de entrada mediante una trayectoria de

retroalimentación, la cual permite estimar las perturbaciones exteriores para que estas puedan ser corregidas.

Un ejemplo de un sistema de control en lazo cerrado es el control de temperatura en una incubadora.

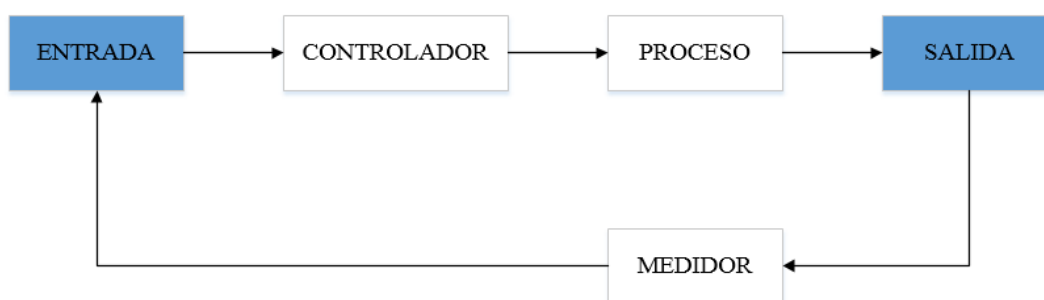


Ilustración 16: Esquema de control en lazo cerrado.

3.3.1. Esquemas de un sistema de control genérico en lazo cerrado.

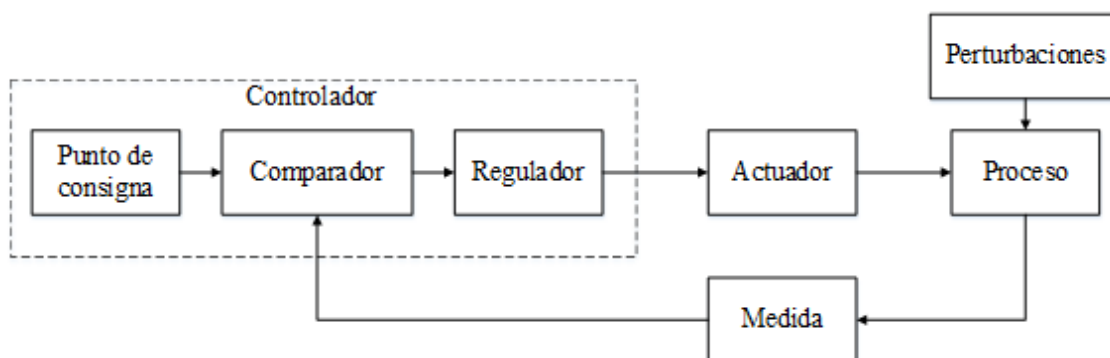


Ilustración 17: Esquema de control de un sistema de control genérico en lazo cerrado.

Donde:

Medida: Sistema que mide la variable del proceso que queremos controlar y transmite su valor hacia el controlador.

Punto de consigna: Valor deseado para la variable controlada.

Comparador: Observa si hay diferencia entre el valor deseado y el de la variable controlada, en ese instante.

Regulador: En función de la diferencia calculada por el comparador, decide la acción que debe ejecutar el actuador, para que el proceso consiga el valor deseado.

Actuador: Elemento final de control, que es capaz de influir sobre la variable del proceso.

Proceso: Sistema dispuesto con el fin de mantener o modificar la variable controlada.

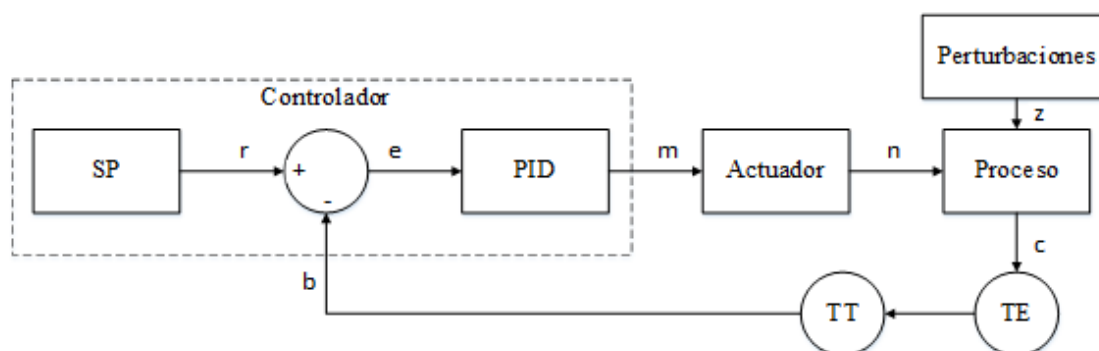


Ilustración 18: Esquema de instrumentación de un sistema de control genérico en lazo cerrado.

Donde:

r: Señal de referencia, también denominado **SP**, Set Point o punto de consigna.

e: Señal de error.

m: Señal de mando.

n: Variable manipulada.

c: Variable controlada, es similar a b, que es la variable realimentada.

z: Perturbaciones del proceso. Cualquier factor que afecte la variable controlada.

TT: Transmisor de temperatura.

TE: Sensor de temperatura.

PID: Control Proporcional-Integral-Derivativo. A lo largo del proyecto se explicará detalladamente cómo funciona un control PID.

3.4. Tipos de sistemas de control.

Existen diferentes tipos de sistemas de control, estos pueden ser de acción todo-nada, de acción proporcional, acción integral, acción proporcional-integral, acción proporcional-derivativa y acción proporcional-integral-derivativa [3, 5, 8, 9].

3.4.1. Control Todo-Nada.

Los controladores Todo-Nada son los más básicos sistemas de control. Estos envían una señal de activación (On, Encendido) cuando la entrada de señal es menor que el valor de consigna o SP definido previamente y desactiva la señal de salida (Off, Apagado) cuando la señal de entrada es mayor que el valor de consigna.

Los controladores Todo-Nada son utilizados en termostatos de aire acondicionado. Estos activan el aire frío cuando la temperatura es mayor que el valor de consigna y la desactivan cuando la temperatura es menor que el valor de consigna [5, 8, 9].

3.4.2. Control Proporcional (Control P).

Un sistema de control proporcional es un tipo de sistema de control de realimentación lineal[5].

El control proporcional es el tipo de control que utilizan la mayoría de los controladores que regulan la velocidad de un automóvil.

En este tipo de control, la salida del controlador es proporcional a la señal de error, que es la diferencia entre el valor real o medido y el valor de consigna o set point, es decir, la salida de un controlador proporcional es el resultado del producto entre la señal de error y la ganancia proporcional.

Esto puede ser expresado matemáticamente como.

$$P_{out} = K_p * e(t)$$

Donde:

P_{out} : Salida del controlador proporcional.

K_p : Ganancia proporcional.

$e(t)$: Error de proceso instantáneo en el tiempo t. $e(t) = SP - PV$.

SP: valor de consigna.

PV: valor del proceso.

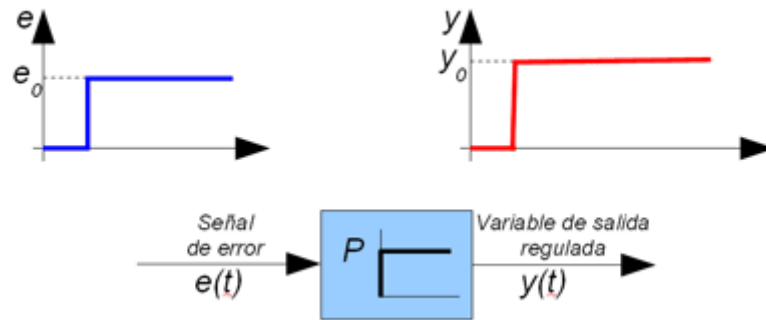


Ilustración 19: Respuesta temporal de un controlador proporcional.

En general los controladores proporcionales siempre presentan una respuesta con un cierto error remanente que el sistema es incapaz de compensar.

3.4.3. Control Integral.

En estos controladores el valor de la acción de control es proporcional a la integral de la señal de error, por lo que en este tipo de control la acción varía en función de la desviación de la salida y del tiempo en el que se mantiene esta desviación [5].

Si consideramos que:

$y(t)$ = salida integral.

$e(t)$ = error.

T_i = tiempo integral.

La salida de este controlador es:

$$y(t) = \frac{1}{T_i} \int e(t) dt$$

Que en el dominio de Laplace, será:

$$Y(s) = \frac{1}{T_i s} E(s)$$

Por lo que la función de transferencia será:

$$G(s) = \frac{Y(s)}{E(s)} = \frac{1}{T_i s}$$

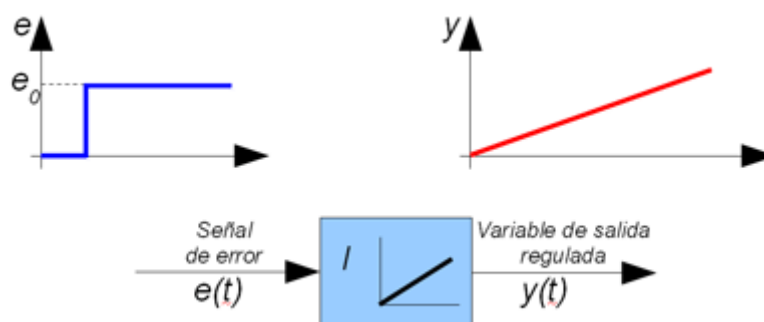


Ilustración 20: Respuesta temporal de un controlador integral.

El inconveniente del controlador integral es que la respuesta inicial es muy lenta, y, el controlador no empieza a ser efectivo hasta haber transcurrido un cierto tiempo. En cambio anula el error remanente que presenta el controlador proporcional.

3.4.4. Controlador Proporcional-Integral (Control PI).

En realidad no existen controladores que actúen únicamente con acción integral, siempre actúan en combinación con reguladores de una acción proporcional, complementándose los dos tipos de reguladores, primero entra en acción el regulador proporcional(instantáneamente) mientras que el integral actúa durante un intervalo de tiempo [5]. (T_i = Tiempo integral).

La función de transferencia del bloque de control PI responde a la ecuación:

$$G(s) = \frac{Y(s)}{E(s)} = K_p \left(\frac{1}{T_i s} + 1 \right)$$

Donde K_p y T_i , son parámetros que se pueden modificar según las necesidades del sistema. Si T_i es grande, la pendiente de la rampa, correspondiente al efecto integral será pequeña y si T_i es pequeño, la pendiente de la rampa será grande.

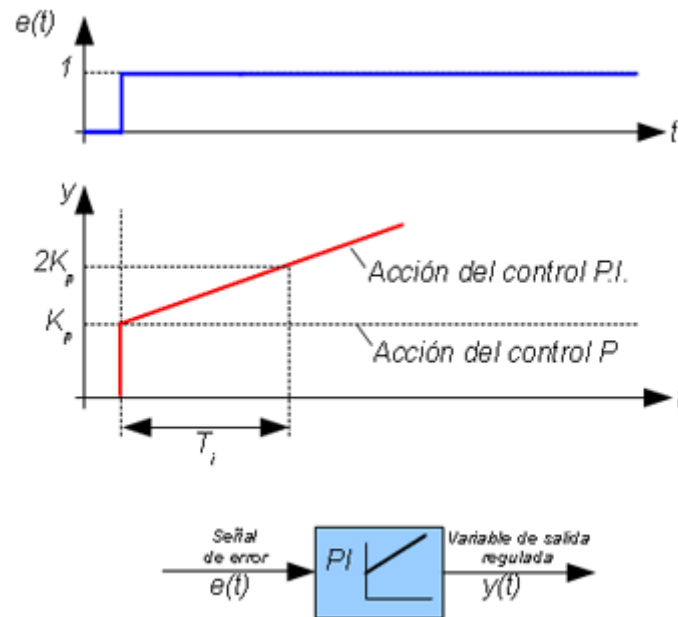


Ilustración 21: Respuesta temporal de un controlador PI.

Por lo tanto la respuesta de un regulador PI, será la suma de las respuestas de un controlador proporcional y de un controlador integral, el regulador proporcional detectara la señal de error y el regulador integral anulara esa señal de error.

3.4.5. Controlador Proporcional-Derivativo (Control PD).

El controlador derivativo se opone a desviaciones de la señal de entrada, con una respuesta que es proporcional a la rapidez con que se producen estas [5].

Si consideramos que:

$y(t)$ = salida diferencial.

$e(t)$ = Error.

T_d = Tiempo diferencial, se usa para dar mayor o menor trascendencia a la acción derivativa.

La salida de este regulador es:

$$y(t) = k_p e(t) + k_p T_d \frac{de(t)}{dt}$$

Que en el dominio de Laplace será:

$$Y(s) = K_p e(s) + k_p T_d s E(s)$$

Por lo que su función de transferencia será:

$$\frac{Y(s)}{E(s)} = Kp(1 + s Td)$$

El regulador diferencial tampoco actúa de forma individual, sino que siempre lleva asociada la actuación de un regulador proporcional.

Cuando las modificaciones de la entrada son instantáneas, la velocidad de variación será muy elevada, por lo que la respuesta del regulador diferencial será muy brusca, lo que haría desaconsejable su empleo.

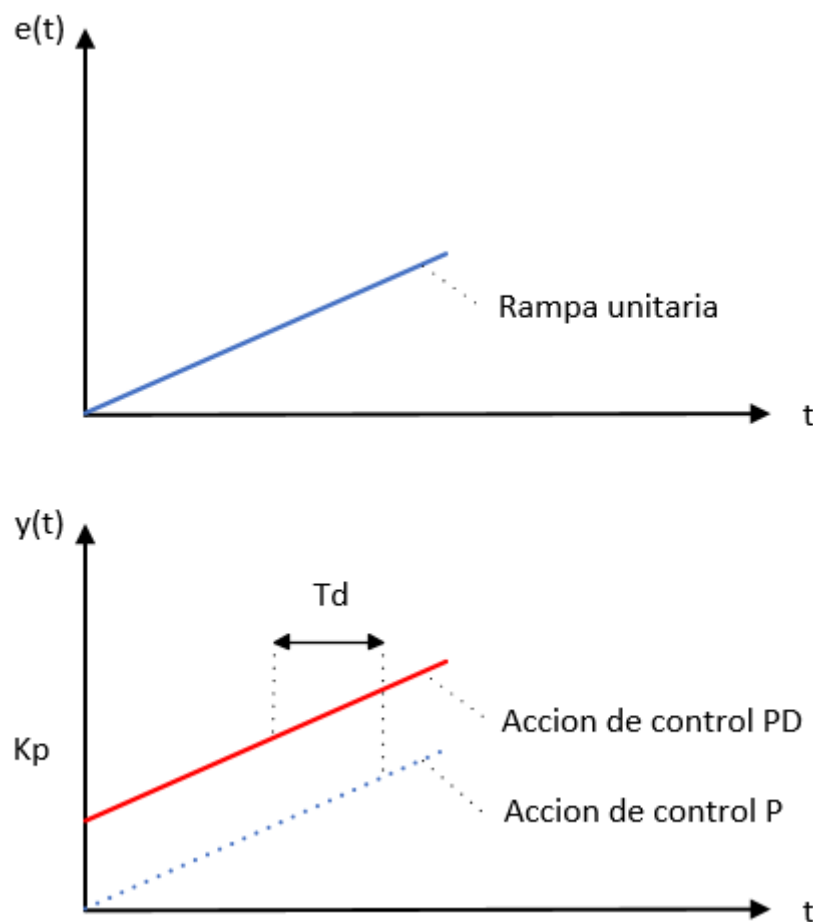


Ilustración 22: Respuesta temporal de un controlador PD.

En los controladores diferenciales, al ser la derivada de una constante igual a cero, el control derivativo no ejerce ningún efecto, siendo únicamente práctico en aquellos casos en los que la señal de error varía en el tiempo de forma continua.

Por lo que, el análisis de este controlador ante una señal de error tipo escalón no tiene sentido, por ello representamos la salida del controlador en respuesta a una señal de entrada en forma de rampa unitaria.

En la anterior ilustración se observa la respuesta que ofrece el controlador, que se anticipa a la propia señal de error. Este tipo de controlador se utiliza en sistemas que deben actuar muy rápidamente, ofreciendo una respuesta tal que provoca que la salida continuamente este cambiando de valor.

El regulador derivativo no se emplea aisladamente, ya que para señales lentas, el error producido en la salida en régimen permanente sería muy grande y si la señal de mando dejase de actuar durante un tiempo largo la salida tendería hacia cero, con lo que no se realizaría ninguna acción de control.

La ventaja de este tipo de controlador es que aumenta la velocidad de respuesta del sistema de control.

Al actuar conjuntamente con un controlador proporcional, las características de un controlador derivativo provocan una apreciable mejora de la velocidad de respuesta del sistema, aunque pierde precisión en la salida durante el tiempo de funcionamiento del control derivativo.

3.4.6. Controlador Proporcional-Integral-Derivativo (Control PID).

Es un sistema de regulación que trata de aprovechar las ventajas de cada uno de los controladores de acciones básicas, de manera que si la señal de error varía lentamente en el tiempo, predomina la acción proporcional e integral, mientras que si la señal de error varía rápidamente, predomina la acción derivativa. Tiene la ventaja de ofrecer una respuesta muy rápida y una compensación de la señal de error inmediata en el caso de perturbaciones. Presenta el inconveniente de que este sistema es muy propenso a oscilar y los ajustes de los parámetros son mucho más difíciles de realizar [5].

La salida del regulador viene dada por la siguiente ecuación:

$$y(t) = Kp e(t) + \frac{Kp}{Ti} \int_0^t e(t) dt + Kp Td \frac{de(t)}{dt}$$

Que en el dominio de Laplace, será:

$$Y(s) = Kp E(s) + \frac{Kp}{Tis} E(s) + Kp Td s E(s)$$

Y por tanto la función de transferencia del bloque de control PID será:

$$\frac{Y(s)}{E(s)} = Kp \left(1 + \frac{1}{Tis} + Tds \right)$$

Donde Kp, Ti y Td son parámetros ajustables del sistema.

La respuesta temporal de un regulador PID sería la mostrada en la ilustración siguiente:

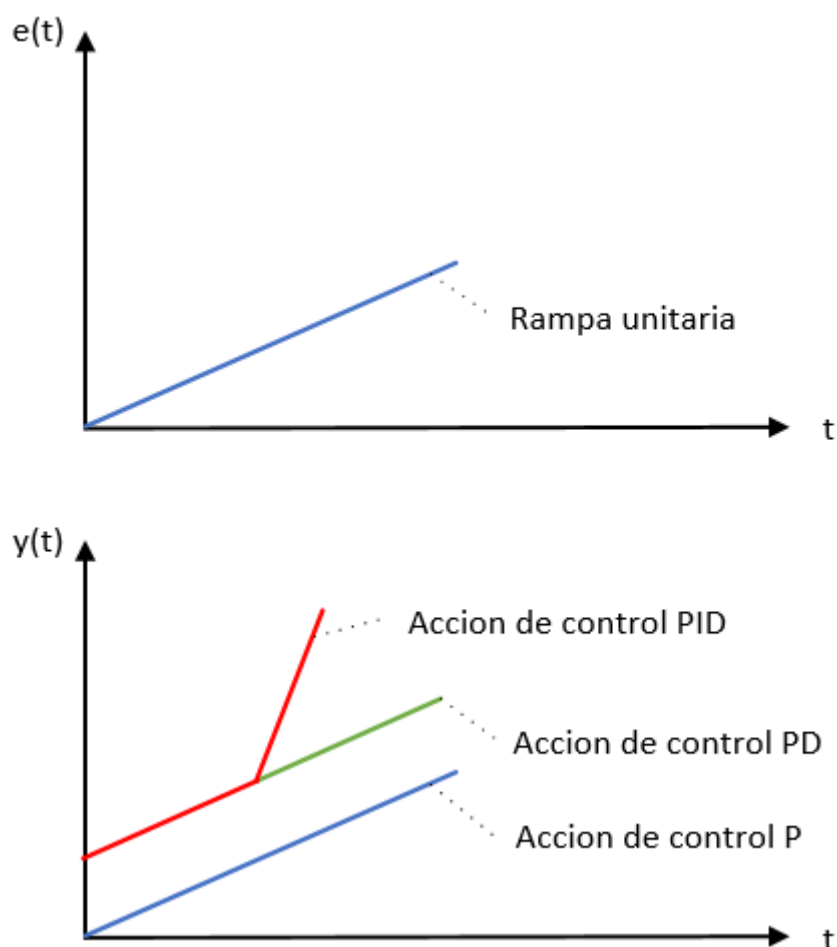


Ilustración 23: Respuesta Temporal de un controlador PID.

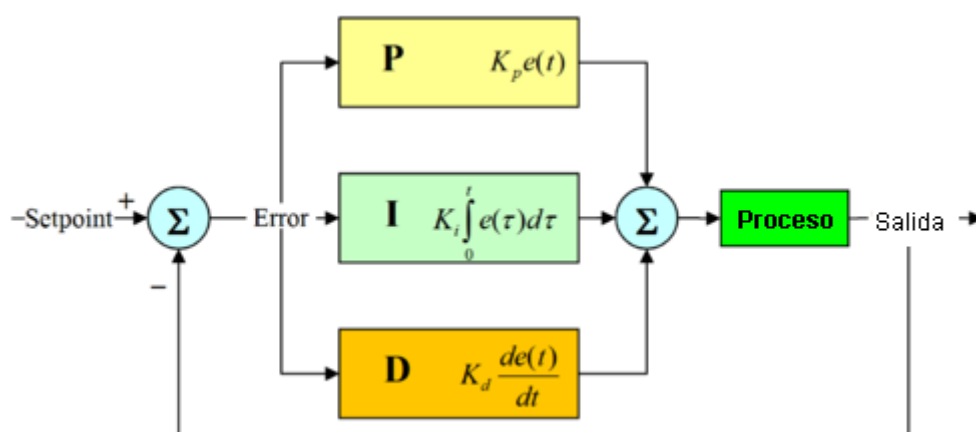


Ilustración 24: Diagrama de Bloques control PID.

En la realización de este proyecto utilizaremos el control todo-nada para controlar el nivel de agua e iluminación de la piscina y el controlador proporcional-integral-derivativo para controlar la temperatura del agua.

3.5. Sintonización de un controlador PID.

El proceso de sintonización consiste en seleccionar los parámetros de ajuste de cada regulador, K_p , T_n y T_v , además de algún otro parámetro del que disponga el controlador que estemos manejando [8].

El objetivo de la sintonización del regulador debe ser conseguir un control de la variable estable y ajustado a las necesidades del proceso. Las características más notables respecto de un proceso regulado son:

- Su tiempo de establecimiento para un cambio de SP definido.
- El sobreimpulso máximo permitido por encima del SP habitual.
- Si se permiten oscilaciones de la variable alrededor del SP.
- La capacidad para hacer frente a las perturbaciones esperadas, sin que la variable se salga del régimen permanente.

Existen multitud de métodos de sintonización, de los cuales los más utilizados y precisos son los expuestos a continuación.

3.5.1. Método Analítico.

Se basa en determinar la función de transferencia del sistema. Por ser una ecuación diferencial, en la mayoría de los casos es necesario manejarla en el Dominio de Laplace.

Este método es generalmente difícil de aplicar por la complejidad de los procesos industriales y la dificultad de obtener datos precisos. Es un método muy laborioso que requiere el empleo de herramientas informáticas, y por lo tanto esta relegado a su uso en ingenierías de desarrollo de sistemas y allí donde los otros métodos experimentales no son aplicables [8].

3.5.2. Método de tanteo.

Este método requiere que el controlador y el proceso estén conectados en lazo cerrado, trabajando de forma general, en automático [8].

El procedimiento general se basa en poner en marcha el proceso con las tres acciones PID pequeñas, para ir aumentándolas después, poco a poco de una en una, hasta obtener la estabilidad deseada. El método es:

1. Se seleccionan parámetros PID para acciones reducidas.
2. Se introduce un escalón de SP. El objetivo es provocar variaciones en el sistema para observar sus reacciones. El cambio de SP debe ser suficiente para producir perturbaciones de b , pero no demasiado como para que pueda dañar el producto,

perjudicar la marcha del sistema o crear perturbaciones intolerables en los procesos asociados.

3. Con el integral y el derivativo apagados, partiendo de una ganancia proporcional, K_p pequeña (BP alta), se va aumentando hasta conseguir que el proceso reaccione con 3 o 4 oscilaciones considerables ante el escalón de SP.
4. Se aumenta el tiempo integración, T_n . Como aumentara la inestabilidad del sistema, debemos bajar un poco K_p (75% del anterior). El ajuste óptimo será justo antes de que el efecto integral produzca sobreimpulso para regulación PI.
5. Aumento del tiempo de derivación, T_v , en pequeños incrementos, hasta que desaparezcan las oscilaciones del régimen transitorio.
6. Después de estos ajustes, normalmente puede estrecharse la banda proporcional, mejorando así los resultados de control.

3.5.3. Método de ganancia límite.

El método desarrollado por Ziegler-Nichols en 1941 consiste en ordenar sucesivos cambios en el punto de consigna, estrechando gradualmente la banda proporcional (BP), con los efectos integral y derivativo anulados, hasta encontrar el límite de estabilidad [8].

Manteniendo el proceso en su límite de estabilidad, obtenemos, de esta oscilación continua de la variable, dos valores:

- La banda proporcional límite, BP_L (o su inversa la ganancia límite, K_{pL}), que será la banda proporcional con la cual está trabajando el regulador en el límite de estabilidad.
- El periodo límite, P_L , de la oscilación en segundos, que es el tiempo que dura cada oscilación completa. El periodo límite lo podemos determinar, midiendo el tiempo de intervalo entre un valor máximo y su sucesivo.

Obtenidos estos valores, podemos calcular los parámetros del regulador según la tabla 1.

Modo de control	BP (%)	T_n (s)	T_v (s)
Control P	$2 BP_L$	-	-
Control PI	$2,2 BP_L$	$P_L/1,2$	-
Control PID	$1,7 BP_L$	$P_L/2$	$P_L/8$

Tabla 1: Parámetros del regulador PID según el método de ganancia límite.

3.5.4. Método de la curva de respuesta.

Este método se realiza con el sistema de control en lazo abierto. Estos métodos se basan en pasar el controlador a manual, impidiendo que el regulador realice el cálculo de la señal de mando m , y permitiendo el ajuste de la señal de mando de forma manual [8].

El método consiste en obtener los parámetros característicos del proceso, incluyendo el sistema de medida y el sistema de mando, mediante la representación gráfica de su respuesta a una escalón de la señal de mando, m .

Esperamos a que la variable controlada se estabilice para, a continuación, provocar un escalón de m , efectuado desde el mando manual del controlador. Debemos registrar la respuesta de la variable controlada a este escalón, para ello necesitaremos:

- Que el proceso esté libre de perturbaciones en el momento del ensayo.
- Para registrar la variable b : Osciloscopio digital, Sistema informático de adquisición de datos (Labview, Labwindows, Visual Designer, con sus tarjetas de adquisición de datos).
- Tabla para la toma de datos cada cierto tiempo que nos permita posteriormente dibujar la respuesta en un gráfico.

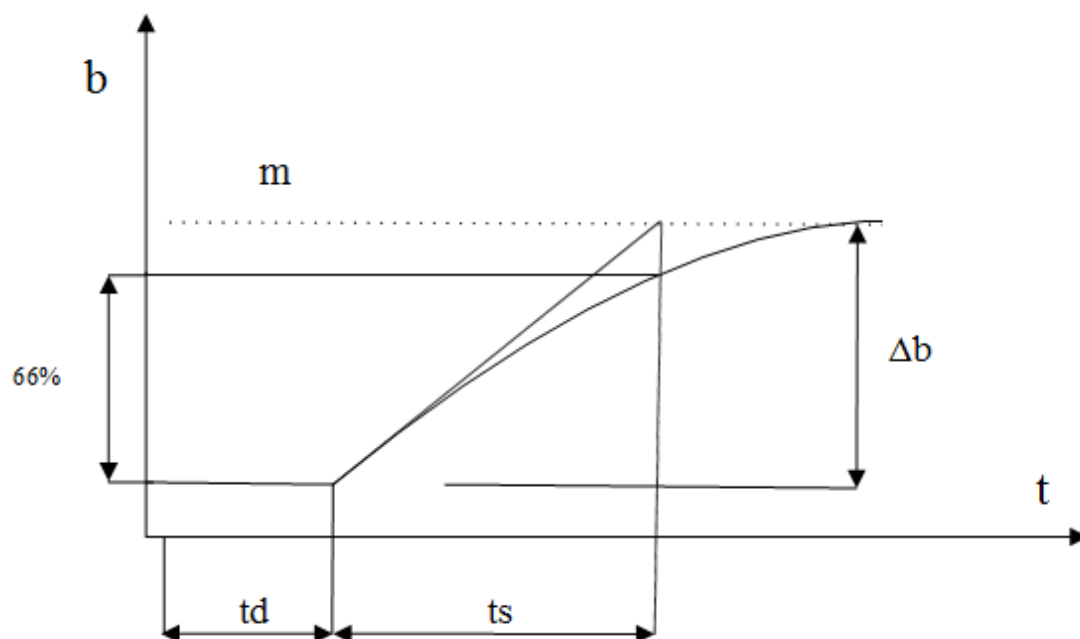
Una vez obtenida la respuesta del proceso a un escalón de m , obtenemos sus parámetros característicos. Dependiendo si el proceso es de orden 1 o de orden 2, obtendremos unos parámetros u otros.

El proceso será de una inercia u orden 1 si después de un tiempo de demora, la salida comienza a variar progresivamente, retardada por una inercia, hasta alcanzar un valor fijo y estable llamado valor de régimen permanente.

El valor de régimen permanente de la variable controlada es el valor en que se estabiliza el proceso y del que ya no cambiara si las condiciones del proceso se mantienen.

La característica principal de este tipo de procesos es que en el comienzo de la variación de la variable b la pendiente es distinta de 0.

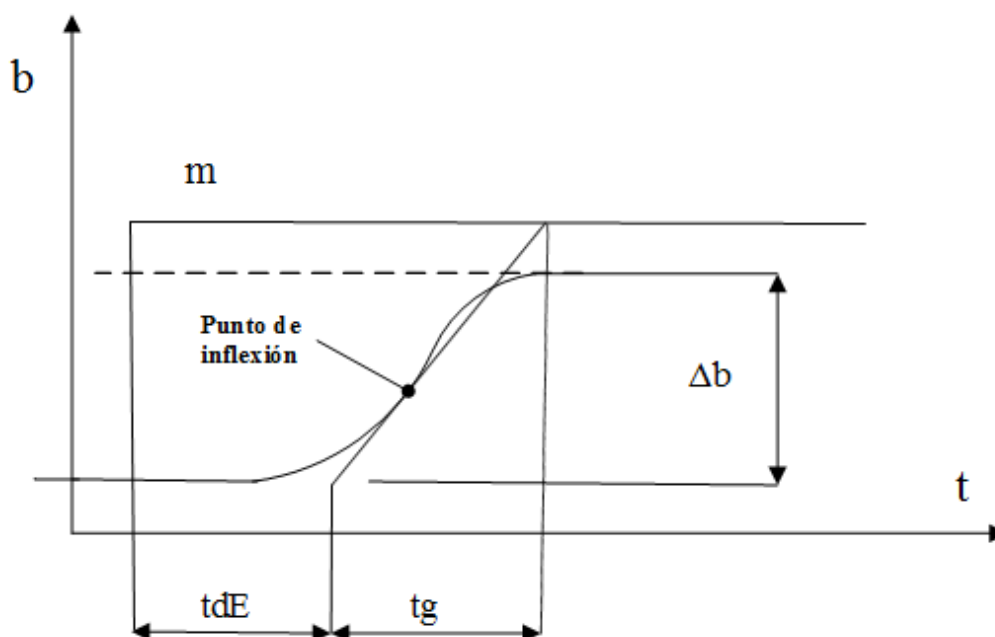
Los parámetros característicos de este tipo de procesos son t_d (tiempo de demora), t_s (tiempo del sistema), Δb (incremento de la señal de medida), Δm (incremento de la señal de mando). A continuación se representa la gráfica de un proceso de orden 1.



Gráfica 1: Gráfica de un proceso de orden 1.

En cambio, el proceso será de dos inercias u orden 2, si en el comienzo de la variación de la variable b , la pendiente es igual a cero, lo que significa que al comienzo la variación es suave, incrementándose según transcurre el tiempo.

Los parámetros característicos de este tipo de procesos son t_{dE} (tiempo de demora equivalente), t_g (tiempo de compensación), que es igual al t_s en los procesos de orden 1, Δb (incremento de la señal de medida) y Δm (incremento de la señal de mando).



Gráfica 2: Gráfica de un proceso de orden 2.

Según sea la relación t_d/t_s o t_g/t_{dE} , tendremos mejores o peores posibilidades de regulación. Los procesos que mejor se regulan son los que presentan tiempos de sistema grandes con respecto al tiempo de demora, como puede observarse en la tabla 2.

	t_s/t_d	t_g/t_{dE}
Buenas	>10	>10
Moderadas	4 a 9	4 a 9
Malas	<3	<3

Tabla 2: Posibilidades de regulación en función de la curva de respuesta.

El método de Ziegler-Nichols en lazo abierto propone ajustar el regulador con los siguientes valores:

Modo de control	BP (%)	Tn (s)	Tv (s)
Control P	$\frac{100 \cdot \Delta b \cdot t_{dE}}{\Delta m \cdot t_g}$	-	-
Control PI	$\frac{110 \cdot \Delta b \cdot t_{dE}}{\Delta m t_g}$	$3,3t_{dE}$	-
Control PID	$\frac{83 \cdot \Delta b \cdot t_{dE}}{\Delta m t_g}$	$2t_{dE}$	$0,5t_{dE}$

Tabla 3: Parámetros del regulador PID según el método de la curva de respuesta.

3.6. Alternativas de sistemas de control.

Los tipos de control como los que se mencionaron anteriormente realizan de manera eficiente la función de mantener estable un sistema, pero son vulnerables a cambios e incertidumbres que no se tomaron en cuenta cuando se diseñaron. Existen algunas alternativas que se han desarrollado recientemente. Una de estas alternativas es el control adaptativo el cual puede modificar su comportamiento para responder a cambios que no estaban previstos en el diseño. Otra alternativa es el control robusto el cual considera las incertidumbres que se presentan en un sistema para responder de manera óptima. También se encuentra el control difuso, el cual a diferencia de los sistemas convencionales, utiliza el conocimiento experto para realizar una acción de control [3].

3.6.1. Control Adaptivo.

Un control adaptativo es un tipo de control no lineal el cual puede modificar su comportamiento en respuesta a cambios en la dinámica del sistema a las perturbaciones. En un mecanismo de adaptación se presenta una solución en tiempo real al problema de diseño para sistemas con parámetros conocidos [3].

Existen dos tipos de controladores adaptativos: los controladores adaptativos con modelo de referencia y los controladores autoajustables. Los primeros intentan alcanzar para una señal de entrada definida, un comportamiento de lazo cerrado dado por un modelo de referencia. Mientras que los segundos tratan de alcanzar un control óptimo, sujeto a un tipo de controlador y a obtener información del proceso y sus señales.

Las ventajas de controladores adaptativos con modelo de referencia están en su rápida actuación ante una entrada definida y en la simplicidad de tratamiento de la estabilidad. Los controladores autoajustables tienen la ventaja de que se adaptan para cualquier caso y en particular para perturbaciones no medibles.

Un control adaptativo se puede utilizar en procesos industriales muy complejos donde la variación de los parámetros de un sistema no se puede determinar desde el inicio.

3.6.2. Control Robusto.

Control robusto es una rama de la teoría de control que trata explícitamente con la incertidumbre en su enfoque de diseño del controlador. Métodos de control robustos están diseñados para funcionar correctamente, siempre y cuando los parámetros inciertos o trastornos están integrados en un conjunto [3]. Métodos robustos tienen por objeto lograr un rendimiento robusto y/o la estabilidad en la presencia de errores de modelado delimitados.

Un proceso puede ser demasiado complejo para ser descrito de forma precisa por un modelo matemático. Se puede considerar que cualquier modelo matemático de un proceso va a ser en mayor o menor grado impreciso o va a tener incertidumbres o errores de modelado. Si se desea controlar de manera eficiente un proceso, es necesario contar con la información de las posibles fuentes de incertidumbre y evaluar su efecto sobre el comportamiento del sistema.

El control robusto abarca los problemas que se caracterizan por considerar incertidumbres en el modelo que sean tolerables por un controlador lineal y que no varíe en el tiempo.

Las principales aplicaciones de la teoría de control robusto se han llevado a cabo en las áreas de control de procesos químicos, robótica, estructuras flexibles y control de aeronaves.

3.6.3. Control Difuso.

Un sistema de control difuso es una alternativa muy útil para el control de procesos industriales demasiado complejos que no pueden ser fácilmente representados por modelos matemáticos [3].

El control difuso utiliza el lenguaje del mundo real para controlar los procesos, radicando su importancia en que permite responder a valores intermedios, de variables, pasando de las dos opciones tradicionales de “frio/caliente”, “alto, bajo”, a opciones como “tibio” y “medio” por ejemplo, otorgando al sistema la capacidad de tomar decisiones y de trabajar como hace un cerebro humano.

3.7. Elementos de un Sistema de Control.

Recordemos un sistema de control en bucle cerrado:

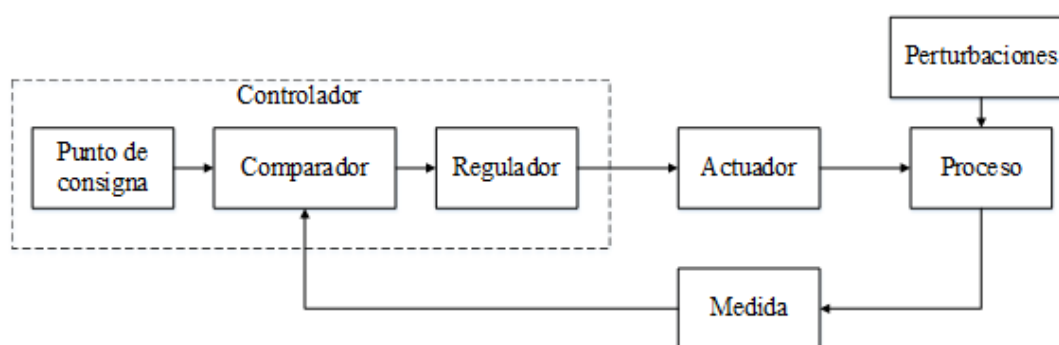


Ilustración 25: Esquema de control de un sistema de control genérico en lazo cerrado II.

Independientemente del tipo de tecnología empleada en los sistemas de control, en todo sistema de control se utilizan controladores, sensores, actuadores e interfaces de operador.

3.7.1. Controladores.

El controlador será el encargado de tomar las decisiones sobre las actuaciones a ejecutar en cada momento y el momento preciso de realizarlas en relación a las señales enviadas por los sensores y a la consigna impuesta [8].

Los controladores pueden manejar variables discretas (on/off), variables analógicas (multitud de valores) o ambas variables.

Algunos de los controladores más usados en la actualidad son los siguientes:

- **Contactores y contactos auxiliares.**



Ilustración 26: Contactor y contactor auxiliar de Telemecanique.

Un contactor es un electroimán que mueve unos contactos móviles para unirlos o separarlos eléctricamente de los fijos, estableciendo de esta forma la conexión del dispositivo a la red eléctrica.

La unión de varios contactores pueden formar un controlador todo-nada que a su vez forman un sistema de control cableado. Estos sistemas cableados son los más sencillos y económicos controladores, aunque presentan limitaciones en las tareas que pueden desempeñar. Este sistema está cada vez más en desuso.

- **Controlador lógico programable (PLC).**



Ilustración 27: Autómata programable de la marca Siemens.

Estos controladores pueden manejar variables discretas y variables analógicas. Además permiten realizar otras funciones como: ordenar operaciones secuenciales, realizar cálculos sencillos, gestionar la información, establecer comunicaciones...etc. Su funcionamiento interno exige de un programa, aunque esto le permite adaptarse mejor a los requerimientos del proceso, además de posibles ampliaciones.

Como importantes ventajas, cabe destacar el aumento de las funciones respecto a los contactores, muy robusto, adaptable en tamaño y prestaciones, permite ampliaciones y modificaciones mediante programa. Como inconveniente está el ser más caro, más complejo de instalar y de mantener.

- **Controlador digital de procesos.**



Ilustración 28: Controlador digital de Temperatura de la marca Honeywell.

Son instrumentos especialmente diseñados para la regulación de una o varias variables analógicas. Realizan sus funciones de forma digital aunque la forma de comunicación con el proceso es analógica. Sus características más notables son que son fáciles de instalar y configurar, y que son baratos.

- **Ordenador industrial (PCI).**



Ilustración 29: Ordenador Industrial de la marca Armagard.

Los ordenadores industriales proporcionan la velocidad de procesamiento, almacenamiento de información y capacidad de comunicación de los PC's, con la ventaja sobre estos de ser más robustos y fiables en su funcionamiento.

En la industria, en muchos sistemas de control, estos ordenadores suelen ir unidos a tarjetas de adquisición de datos, que son dispositivos electrónicos que toman muestras del mundo real (sistema analógico) para generar datos que puedan ser manipulados por un ordenador (sistema digital), para crear SCADAS.



Ilustración 30: Tarjeta de Adquisición de Datos de National Instruments.

Un SCADA (Supervisory Control and Data Adquisition) es un paquete de software desarrollado para proporcionar un interfaz hombre-máquina. Uno de los paquetes de software más famosos para la creación de SCADAS es LABVIEW, suministrado por National Instruments.

LABVIEW es una poderosa herramienta que utiliza un lenguaje de programación de tipo grafico para el diseño de sistemas de adquisición y control de instrumentos o SCADAS.

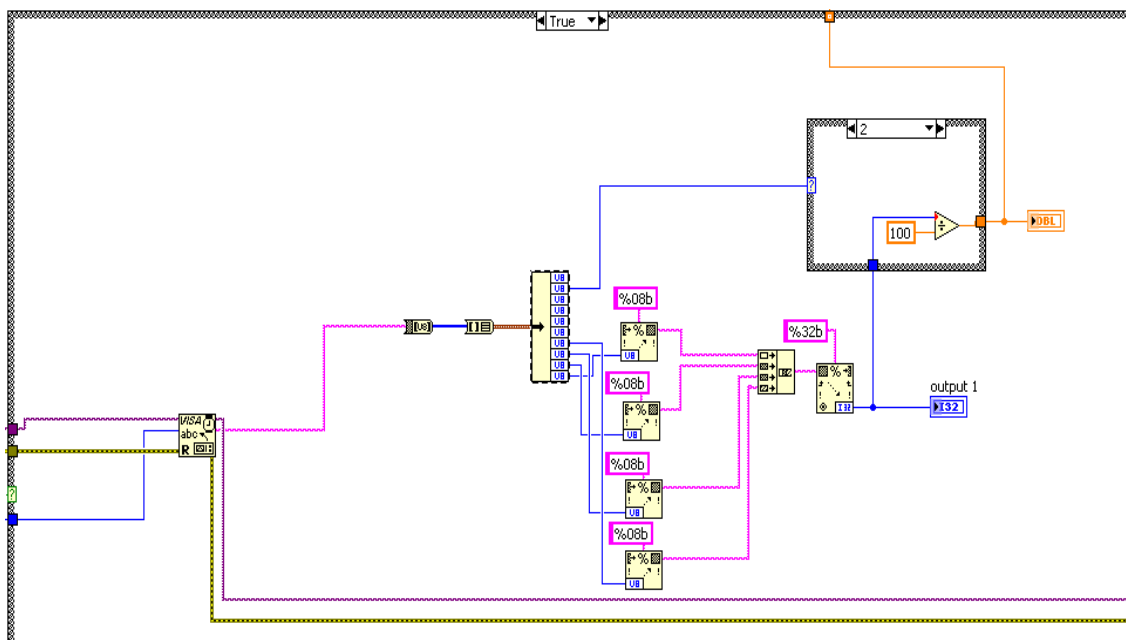


Ilustración 31: Programación Gráfica en LABVIEW.

Los sistemas diseñados con esta herramienta se denominan Virtual Instruments, ya que su apariencia y funcionamiento se asemejan al de un instrumento estándar.

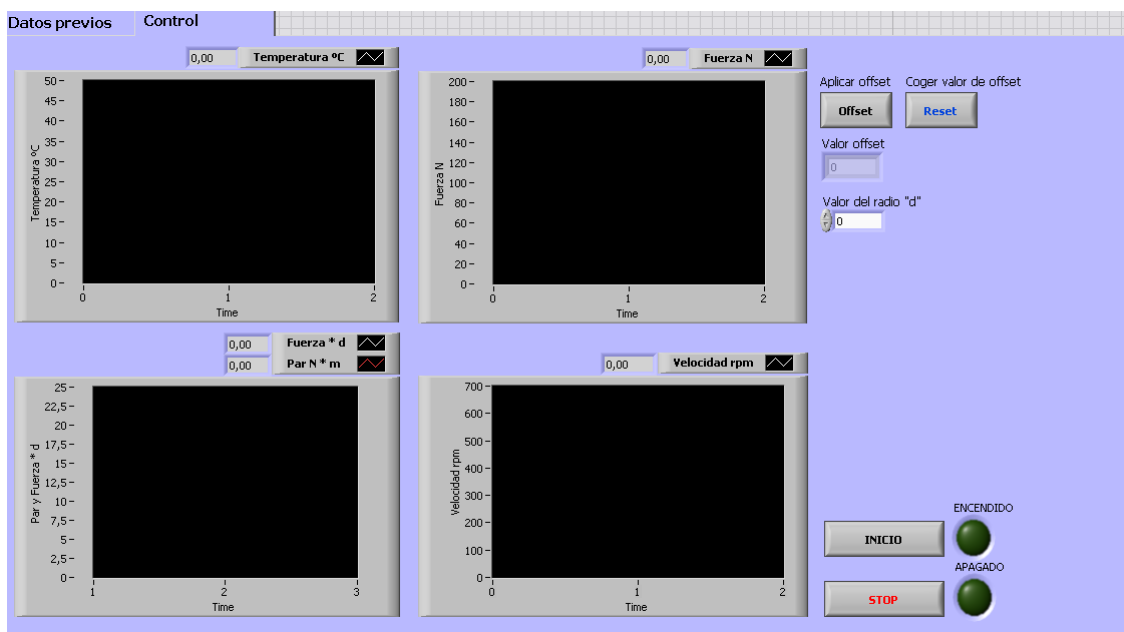


Ilustración 32: SCADA diseñado con LABVIEW para una máquina de ensayos de la EIMIA.

- **Placas Arduino.**

Las placas Arduino son sencillas placas con entradas y salidas, analógicas y digitales, que son programadas a través de un entorno de desarrollo basado en el lenguaje de programación Processing.

Al igual que una tarjeta de adquisición de datos, las placas Arduino, son dispositivos que conectan el mundo físico con el mundo virtual, o el mundo analógico con el digital.

Las placas Arduino pueden utilizarse como tarjetas de adquisición de datos junto a un ordenador en un sistema de adquisición de datos, de hecho son compatibles con el software LABVIEW, o también pueden utilizarse como controladores en un sistema automático.

En la realización de este proyecto utilizaremos como controlador una placa Arduino. Más adelante se hablara más detalladamente sobre la plataforma Arduino y sus diferentes placas y dispositivos.

3.7.2. Sensores.

Para poder efectuar medidas de diferentes magnitudes físicas con sistemas electrónicos, es necesario convertir dichas magnitudes en señales eléctricas (tensión o corriente). Los transductores son los dispositivos que realizan este tipo de conversión. Formando parte del transductor se encuentra el sensor, que es el elemento primario sensible a la magnitud física. En el sensor se produce una variación de alguna de sus características eléctricas en función de dicha magnitud física. Esta variación proporciona una primera señal que generalmente precisa ser tratada mediante un circuito electrónico [8].

Los sensores pueden ser activos o pasivos. Los primeros son aquellos que actúan como generadores de señal, es decir, generan señales representativas de las magnitudes que se van a medir sin necesidad de alimentarlos con una fuente externa (termopares, célula de carga piezoeléctrica...etc.). Los pasivos, sin embargo, deben formar parte de un circuito que será alimentado con una fuente externa, puesto que son incapaces de generar señal de forma autónoma (termoresistencia, galga...etc.).

Según sea el tipo de señal de salida, pueden ser analógicos o digitales.

Para describir el comportamiento de un sensor, el fabricante hace referencia a una serie de características, de entre las cuales podemos destacar las siguientes:

- **Rango:** Conjunto de valores de la magnitud medida para los que da señal de salida el dispositivo con cierta precisión.
- **Alcance:** Es la diferencia entre los valores máximo y mínimo del campo de medida.
- **Sensibilidad:** Es la relación entre el incremento producido a la salida del dispositivo y el incremento de la magnitud aplicada a la entrada.
- **Curva característica:** Es la representación gráfica que relaciona la señal obtenida a la salida en función de la magnitud de entrada.
- **Precisión:** Cualquier medida tomada con un sensor va a ser errónea en mayor o menor medida. El error es la diferencia entre el valor leído y el valor real dado por la curva de calibración. Este error determina la precisión del dispositivo.
- **Resolución:** Indica en cuanto tenemos que hacer variar la magnitud que se está midiendo para que en la salida se aprecie el cambio.

Estas características son las que suelen importar a los técnicos a la hora de elegir un sensor para un determinado trabajo.

La tecnología base del sensor que forma parte de un transductor hace referencia al fenómeno físico que tiene lugar en la transducción. Las principales tecnologías o efectos son los siguientes:

- **Efecto piezoeléctrico:** Ciertos cristales de cuarzo sometidos a una presión experimentan un cambio en su estructura cristalina que modifica su distribución de carga, manifestándose externamente como una tensión eléctrica.

- **Efecto resistivo:** La resistencia eléctrica de un material conductor viene dada por:

$$R = \rho \frac{l}{s}$$

Si hacemos que varíe la longitud (l), la sección (s) o la resistividad (ρ) en función de la magnitud a medir se produce el efecto resistivo. Este efecto se da en las termoresistencias y en las galgas extensiométricas.

- **Efecto capacitivo:** La capacidad de un condensador depende de la superficie de las placas conductoras (s), de su separación (d) y del tipo de material dieléctrico que hay entre placas (constante dieléctrica ε), y viene dada por la expresión:

$$C = \epsilon \frac{s}{d}$$

Haciendo variar algunas de estas características en función de la medida tenemos el efecto capacitivo. Se aprovecha en ciertos sensores de presión y en los detectores de proximidad de tipo todo-nada.

- **Efecto inductivo:** El coeficiente de autoinducción (L) de una bobina depende de su forma constructiva (número de espiras, longitud, sección) y de la naturaleza del núcleo. Si hacemos que este cambie de posición en función de la medida tomada, cambiara el valor de L.
- **Efecto reluctivo:** Parecido al anterior, solo que en este caso se cuenta con varios bobinados atravesados por un mismo núcleo. Al variar la posición del núcleo, varia su reluctancia y, con ello, el acoplamiento entre los bobinados. Si uno de ellos está alimentado por corriente alterna, en los otros se conseguirá una tensión que es función de dicha reluctancia.
- **Efecto electromagnético:** Los dispositivos en los que se da este efecto convierten la magnitud que se desea medir en una tensión inducida a la salida. El fenómeno de la inducción se da cuando en un bobinado se hace variar el flujo magnético que lo atraviesa. Un ejemplo de aprovechamiento del mismo es la dinamo tacométrica para la medida de velocidades.
- **Efecto fotovoltaico:** Ciertos materiales semiconductores sensibles a la luz son capaces de cambiar sus condiciones eléctricas en función de la radiación incidente. Este es el caso de los fotodiodos y fototransistores. En combinación con dispositivos emisores de luz, tales como diodos LED, constituyen barreras fotoeléctricas que se utilizan en gran número de transductores, como los encoders o detectores de proximidad.
- **Efecto termoeléctrico:** Si la unión de dos materiales metálicos distintos se calienta, se genera en los extremos del mismo una tensión que es proporcional a la temperatura. Este fenómeno es aprovechado por los termopares.

Describir todos los tipos de sensores que hay, sería elaborar una lista muy amplia, por lo cual solo se nombrarán algunos de los sensores de las magnitudes físicas que se van a medir en este proyecto:

- **Sensores de temperatura.**

La medida de temperatura es una de las más usuales en los procesos industriales. Existen actualmente diversos sensores para conseguir dicha medida. Los más destacables son: termorresistencias, termopares, sensores semiconductores y termistores.

- o **Termorresistencias.**

La resistencia eléctrica de un material conductor depende de la temperatura a la que está sometido. El grado de esta dependencia nos lo da su coeficiente de temperatura, que expresa la variación de resistencia a una temperatura determinada por cada grado de variación de la temperatura. Para los conductores usuales la ley de variación es lineal y responde a la siguiente ecuación:

$$R = R_0 \cdot (1 + \alpha \cdot t)$$

Donde:

R_0 = resistencia a 0°

R = resistencia a t °C

α = coeficiente de temperatura

t = temperatura

Los materiales generalmente empleados son el platino, níquel y cobre. El platino es el material más adecuado por su precisión y estabilidad, pero es de elevado coste. La sonda de platino que normalmente se utiliza en la industria tiene una resistencia de 100 Ω a 0 °C, de ahí que también reciba el nombre de PT100.

La siguiente tabla muestra las características principales de estos tres materiales:

MATERIAL	Platino	Níquel	Cobre
Coefficiente de temperatura	$392 \cdot 10^{-5} \Omega/\Omega \text{ }^{\circ}\text{C}$	$63 \cdot 10^{-4} \Omega/\Omega \text{ }^{\circ}\text{C}$	$425 \cdot 10^{-4} \Omega/\Omega \text{ }^{\circ}\text{C}$
Resistividad	$9,38 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$	$6,38 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$	$1,56 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$
Intervalo de utilización	-200 a 950 $^{\circ}\text{C}$	-150 a 300 $^{\circ}\text{C}$	-200 a 120 $^{\circ}\text{C}$
Resistencia de la sonda a 0 $^{\circ}\text{C}$	25, 100, 130 Ω	100 Ω	10 Ω
Precisión	0,01 $^{\circ}\text{C}$	0,5 $^{\circ}\text{C}$	0,1 $^{\circ}\text{C}$

Tabla 4: Características principales de los diferentes materiales de las termorresistencias.

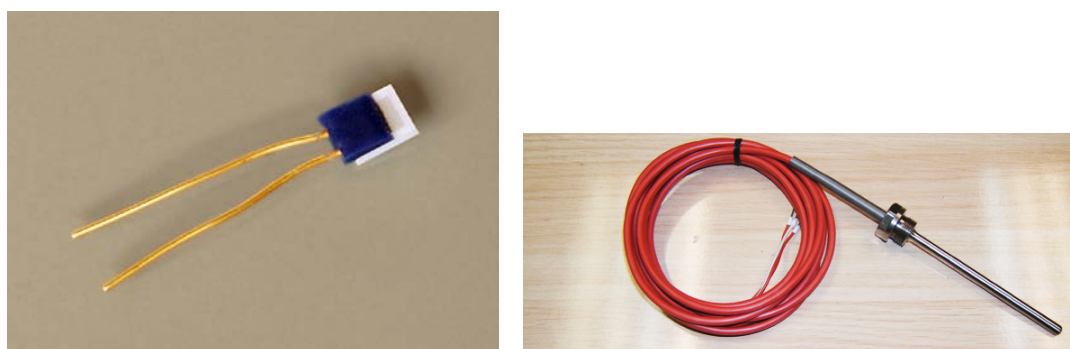


Ilustración 33: Termorresistencias PT100.

o Termopares.

Un termopar se compone de dos metales distintos unidos firmemente por un extremo. Si las temperaturas de la unión de medida y la unión de referencia son distintas, se establece una corriente eléctrica (efecto Seebeck), debido a la aparición de una pequeña diferencia de potencial en dicha unión. El termopar es un sensor diferencial puesto que genera tensión solo si existe diferencia de temperatura entre las uniones.

Los termopares se clasifican atendiendo a los tipos de materiales que forman la unión. La siguiente tabla muestra las características fundamentales de los termopares más usuales junto con su denominación.

Tipo	Intervalo de medida	FEM mv/°C
Cromel-Constatan Tipo E	-200 a 800 °C	0,059
Cobre-Constatan Tipo T	-200 a 350 °C	0,039
Hierro-Constatan Tipo J	-40 a 750 °C	0,050
Cromel-Alumel Tipo K	-200 a 1200 °C	0,039
Pt-Rh 6% / Pt-Rh 30% Tipo B	600 a 1700 °C	0,0004
Pt-Pt/Th 13% Tipo R	0 a 1600 °C	0,005
Pt-Pt/Rh 10% Tipo S	0 a 1600 °C	0,005

Tabla 5: Características principales de los diferentes materiales de los termopares.

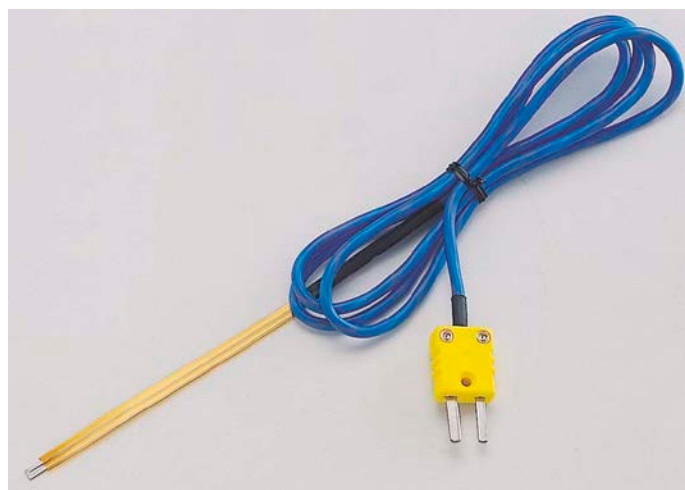


Ilustración 34: Termopar Tipo J.

o Sensores semiconductores.

Se basan en la sensibilidad que presentan las uniones P-N a la temperatura. Un ejemplo de sensor de este tipo es el circuito integrado LM35.

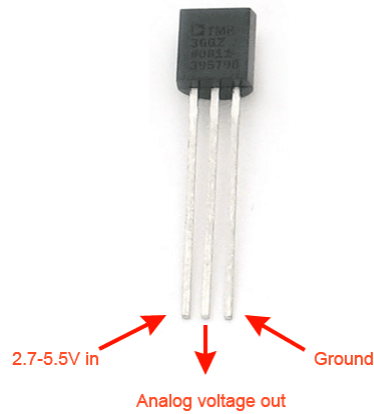


Ilustración 35: Sensor LM35.

La tensión de salida es proporcional y varía linealmente con la temperatura expresada en grados centígrados. El LM35 no precisa calibración externa y proporciona precisiones de $\pm 1/4$ °C a $\pm 3/4$ °C según el rango de temperaturas en el que se haga trabajar. El LM35 está ajustado para trabajar entre -55 °C y 150 °C.

o Termistores.

Son los menos utilizados, los termistores son componentes semiconductores con un elevado coeficiente de temperatura, por lo que experimentan cambios muy elevados de resistencia frente a cambios térmicos. Pueden ser de dos tipos:

- NTC: Coeficiente negativo de temperatura.
- PTC: Coeficiente positivo de temperatura.

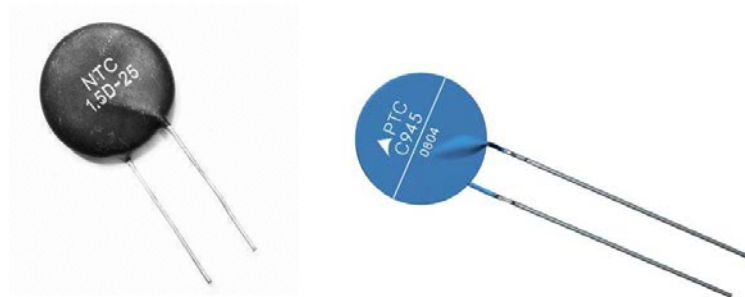


Ilustración 36: Termistores tipo NTC y tipo PTC.

- **Sensores de Nivel.**

El nivel de un tanque puede medirse por diversos métodos dependiendo del tipo de tanque, material almacenado y la precisión deseada. Los transductores eléctricos son los más empleados y entre ellos cabe destacar los que se describen a continuación.

- o **Flotador magnético.**

Es un flotador que se desliza a lo largo de un tubo guía, el flotador contiene un imán que al moverse por el empuje del agua, arrastra a otro imán situado en el interior del tubo. Este segundo imán está acoplado al cursor de un potenciómetro, por lo que la variación de nivel se traduce en una variación de resistencia que se puede convertir en una señal eléctrica mediante un puente u otro circuito similar.

La precisión de este instrumento es de $\pm 0,5\%$ y permite la medida en tanques abiertos y cerrados. El margen admisible es de 0 a 10 m.



Ilustración 37: Flotador magnético.

De construcción similar son los medidores de desplazamiento. Estos sensores consisten en un flotador parcialmente sumergido en el líquido y conectado mediante un juego de palancas a una varilla que transmite el movimiento del flotador a un dispositivo eléctrico tal como un potenciómetro.



Ilustración 38: Medidor de desplazamiento.

o Ultrasonidos.

Se hace uso de un emisor y receptor de ultrasonidos, situados en el tanque de forma que el receptor capta el sonido reflejado en la superficie del líquido, procedente a su vez del emisor.

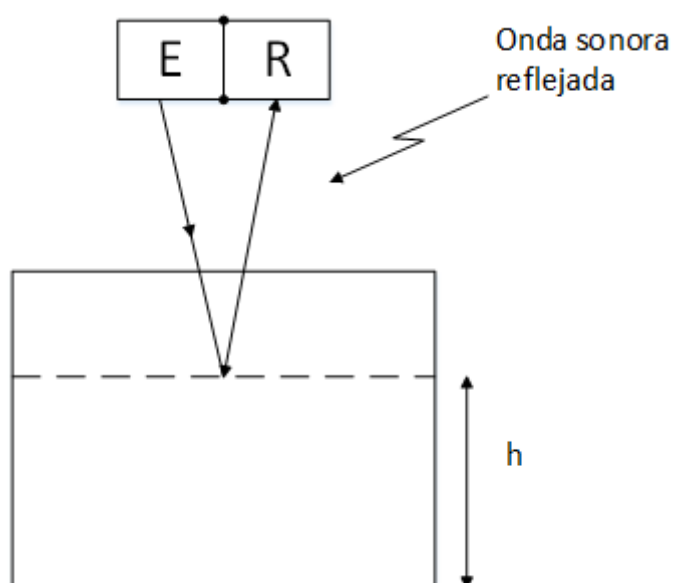


Ilustración 39: Medida de nivel por ultrasonidos.

El tiempo invertido por la onda sonora desde que se emite hasta que se recibe, depende de la distancia a la que se encuentra la superficie y, por tanto, la altura h .

La precisión de estos sensores es del $\pm 1\%$ y sirven también para medidas de nivel de sólidos. Es posible medir alturas entre 0 y 30 m.



Ilustración 40: Medidores de nivel por ultrasonidos.

- **Sensores de posición.**

La mayoría de estos dispositivos entregan una señal de tipo todo/nada indicando con ello la presencia o ausencia de un objeto. Se utilizan frecuentemente en el control secuencial como elementos que proporcionan información de entrada al controlador.

- o **Finales de carrera.**

Son interruptores electromecánicos accionados por palanca, rodillo, leva...etc. Los hay de muchas diversas formas.



Ilustración 41: Finales de carrera.

o Detectores fotoeléctricos.

Para la detección fotoeléctrica es necesario contar con dos elementos: el emisor de luz y el receptor. Como emisores se suelen emplear lámparas de incandescencia, diodos LED y diodos laser. Como receptor de luz se utilizan las resistencias LDR, fotodiodo, fototransistor, fototiristor...etc.

Los modos de detección son tres:

1. **Barrera:** Emisor y receptor están separados y se instalan uno frente al otro, formando una barrera luminosa. Al cortar el haz se produce un cambio a la salida del receptor.



Ilustración 42: Detección por barrera.

2. **Réflex sobre espejo:** Además del emisor y receptor que se instalan separados y uno sobre otro, es necesario un espejo sobre el que se refleje el haz para formar así la barrera luminosa.

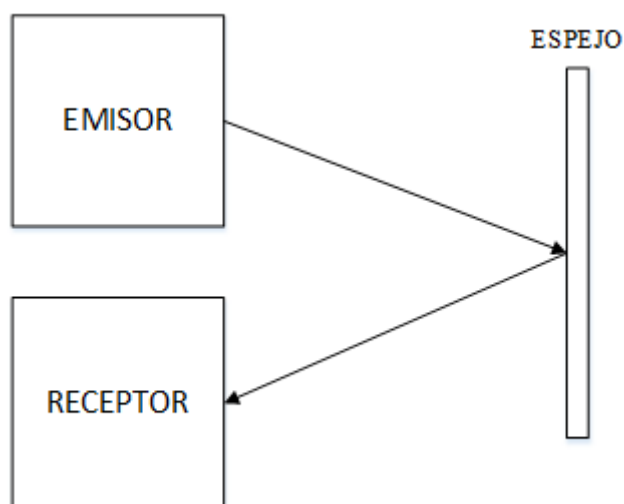


Ilustración 43: Detección con réflex sobre espejo.

3. **Réflex directo:** Emisor y receptor forman parte de un solo bloque y es el propio objeto que se pretende detectar el que refleja el haz luminoso cuando pasa frente al detector.

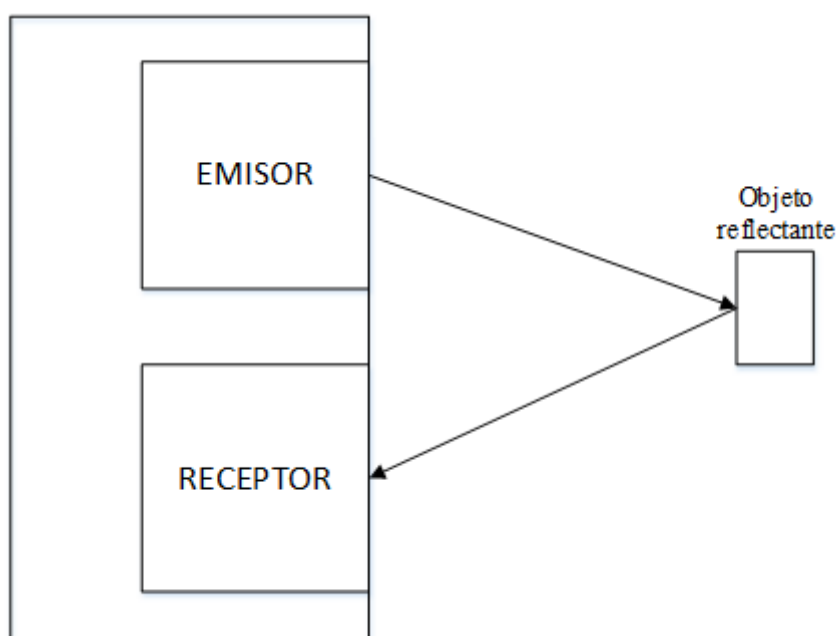


Ilustración 44: Detección con réflex directo.

Las características más destacables de los detectores fotoeléctricos con:

- Distancia de detección: Los detectores de barrera y réflex sobre espejo permiten una mayor distancia del objeto al detector que las réflex directas. Puede variar entre algunos metros y algunos centímetros.
- Alimentación: Se pueden alimentar en continua, alterna o multialimentación.
- Tipo de salida: Los tipos de salida más habituales son NPN y PNP cuando la alimentación es de alterna.
- Tiempo de respuesta: Hay fotocélulas con tiempos del orden de ms y otras con tiempos del orden de microsegundos.

o Detectores ultrasónicos.

Los ultrasonidos, debido a su alta frecuencia y corta longitud de onda, son ondas muy direccionales. Se puede aprovechar esta propiedad para realizar barreras ultrasónicas compuestas por un emisor y un detector. Los tipos de conexión son en barrera y por reflexión en directa.

Presentan la ventaja de que la detección es independiente al color, transparencia y tipo de material del objeto. Las distancias de detección son del orden de algunos centímetros.

- Sensores de PH.



Ilustración 45: Sensor de PH.

Los sensores de PH son dispositivos electrónicos que miden la concentración de iones del gas hidrogeno $[H^+]$ en una disolución. Estos elementos permiten realizar mediciones

de la acidez de una solución acuosa. Suelen ser utilizados en la agricultura, el tratamiento y purificación de agua, en procesos industriales como los petroquímicos, fabricación de papel, alimentos, farmacia e investigación y desarrollo, entre otros.

Estos sensores utilizan un electrodo sensible a los iones. Un electrodo de PH es generalmente un electrodo combinado, en el cual se encuentran integrados un electrodo de referencia y un electrodo de vidrio, en una misma sonda. La parte inferior de la sonda termina en un bulbo redondo de vidrio delgado. El tubo interior contiene cloruro de potasio saturado [KCl] y una solución 0,1M de ácido clorhídrico [HCl]. También dentro del tubo interior está el extremo del cátodo del electrodo de referencia. El extremo anódico se envuelve así mismo en el exterior del tubo interno y termina con el mismo tipo de electrodo de referencia como el del tubo interno. Ambos tubos, el interior y el exterior contienen una solución de referencia, pero únicamente el tubo exterior tiene contacto con la solución del lado externo del electrodo de PH, a través de un tapón poroso que actúa como un puente salino.

El bulbo de vidrio en la parte inferior del electrodo de PH que actúa como elemento de medición está recubierto, tanto en el exterior como en el interior con una capa de gel hidratado. Los cationes metálicos [Na^+] se difunden en el gel hidratado fuera del vidrio y dentro de la solución, mientras que los iones [H^+] de la solución se difunden dentro del gel hidratado. El gel hidratado es el que hace que el electrodo de PH sea un electrodo selectivo de iones. El ion [H^+] no cruza a través de la membrana de vidrio del electrodo de PH, es el ion sodio [Na^+] el que cruza y permite un cambio de la energía libre. Cuando un ion se difunde de una región de actividad a otra, se presenta un cambio en la energía libre y esto es lo que mide el sensor de PH [4].

3.7.3. Actuadores.

Los actuadores son los encargados de influir sobre el proceso. En unos casos actúan directamente como las electroválvulas que son capaces de abrir o cerrar el paso de un fluido [8].

En otros casos actúan como elemento de potencia para activar el actuador final. Por ejemplo una electroválvula de gran tamaño es preciso conectarla a través de un contactor, pues las salidas de un autómatas u otro controlador no serían capaces de conectar intensidades eléctricas elevadas.

Al igual que los controladores, hay actuadores todo-nada y actuadores proporcionales. Dependiendo del control que se quiera ejercer sobre un proceso, se elegirán unos actuadores u otros.

- **Actuación Todo-Nada.**

- o **Contactores.**

Como dijimos anteriormente la unión de varios contactores pueden formar un controlador todo-nada, que a su vez forman un sistema de control cableado, pero individualmente es el elemento de potencia más utilizado.



Ilustración 46: Contactor trifásico de la marca Siemens.

- o **Contactor de potencia.**

Se utiliza para la conexión de cargas de 100 A hasta 800 A. Estas cargas pueden ser calentadores eléctricos, motores, bombas, iluminación...etc.



Ilustración 47: Contactor de potencia de la marca CHNT.

o Electroválvulas.

Una electroválvula es una válvula electromecánica diseñada para controlar el paso de un fluido que se mueve a través de un electroimán.



Ilustración 48: Electroválvula de la marca TDRK.

o Cilindros neumáticos.

Consiste en un embolo que es movido a uno y otro lado mediante la introducción de aire a presión en el lado opuesto al sentido del movimiento.



Ilustración 49: Cilindro neumático de la marca FESTO.

- **Actuadores Proporcionales.**

- o **Variador de frecuencia.**

Son aparatos que rectifican la corriente alterna de la red en corriente continua para volverla a ondular a frecuencias desde 0 a 100 Hz.

Si conectamos un motor de alterna a la salida del variador, el motor girara a una velocidad definida por la frecuencia de la corriente alterna suministrada.



Ilustración 50: Variador de frecuencia de la marca Schneider.

- o **Reguladores de Potencia.**

Son dispositivos electrónicos que se utilizan como conmutadores electrónicos de potencia con disparo por ángulo de fase o por tren de ondas para gobernar cargas resistivas, generalmente para aplicaciones de calentamiento.



Ilustración 51: Regulador de potencia de la marca Watlow.

0 **Válvulas proporcionales.**



Ilustración 52: Válvula proporcional de la marca Genebre.

El principio de funcionamiento de estos dispositivos es la conversión de una señal eléctrica analógica de entrada en una determinada posición de la corredera y, por consiguiente, una concreta apertura de la sección transversal. En el caso de que el rango de entrada sea de 0-10V, para 5V la válvula se coloca en la posición intermedia. A 10 V y a 0V la corredera de la válvula se coloca en sus posiciones finales, bien hacia un extremo, o en otro.

La válvula es particularmente apropiada para el uso como un elemento final de control, y por lo tanto como un controlador de posición de un cilindro neumático. Es por ello, por lo que la válvula está dotada por un sensor de posición que sirve de retroalimentación interna de manera que si no se hubiera alcanzado la posición deseada en función de la intensidad recibida, lo acusaría y daría la información suficiente para que la corredera, terminase ocupando la posición debida.

o Cilindro neumático proporcional.



Ilustración 53: Cilindros neumáticos proporcionales de la marca Camozzi.

Estos elementos producen un movimiento lineal con posibilidad de posicionamiento en cualquier punto intermedio. Incluye para conseguir este propósito un posicionador como puede observarse en la parte superior derecha.

3.7.4. Interfaces de operador.

Estos equipos pertenecen a la parte manual del sistema y su función es la de comunicar el sistema automático con el operador del proceso. Unos proporcionan información sobre el proceso (equipos de salida) como un indicador, una bocina o una bombilla y otros permiten al operador dar órdenes al sistema automático y cambiar sus parámetros de funcionamiento (equipos de entrada) como una seta de emergencia o una botonera [8].

Los interfaces de operador más avanzados permiten la comunicación en ambos sentidos proporcionando información y permitiendo a la vez el acceso al funcionamiento del sistema automático. Ejemplos de estos interfaces de operador son los terminales de operador, pantallas táctiles y SCADAS ejecutados en PC's remotos.

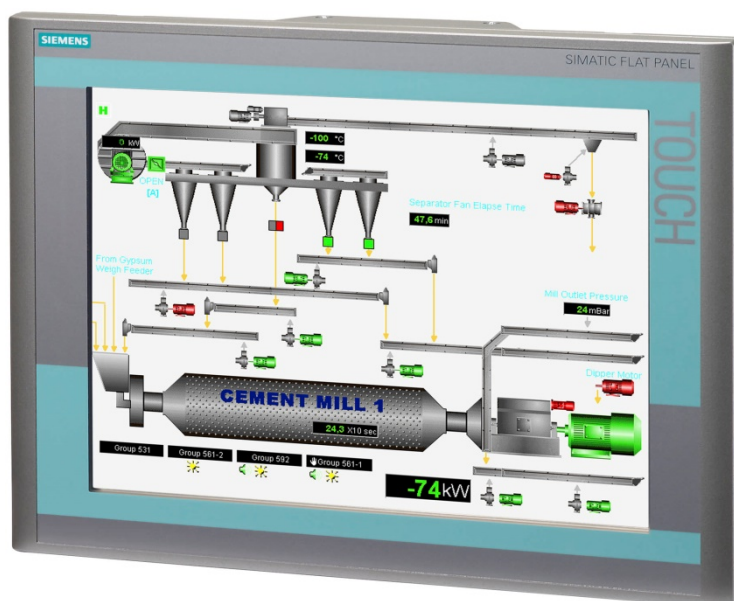


Ilustración 54: Pantalla táctil de la marca Siemens.

3.8. Arduino.

Arduino es una plataforma de electrónica abierta para la creación y construcción de prototipos basados en software y hardware libre, flexible y fácil de usar. La creación de esta plataforma fue para aficionados a la electrónica y artistas en crear entornos u objetos interactivos [6].

Arduino recibe información del entorno a través de sensores conectados a sus pines de entrada y manda órdenes a través de sus salidas, permitiendo controlar motores, servos, luces...etc. Para trabajar con Arduino se necesita tener conocimientos de electrónica y programación.

El microcontrolador situado en la placa se controla el lenguaje de programación Arduino, que está basado en lenguaje C, C++ y el entorno de desarrollo Arduino, que está basado en Processing.

Los proyectos hechos con Arduino se pueden ejecutar sin necesidad de conectarlos a un PC.

El hardware consiste en una placa con un microcontrolador Atmel AVR y puertos de entrada/salida. Los microcontroladores más utilizados son Atmega168, Atmega328 y Atmega1280 por su bajo coste y sencillez.

Las placas se pueden comprar hechas o para montarlas.

3.8.1. Placas Arduino.

Existen varias placas Arduino, en función de las prestaciones y del número de entradas y salidas que se deseen tener. Las distintas placas tienen procesadores con características diferentes según para lo que se quiera utilizar. La elección de la placa se hará en función del número de entradas y salidas que vamos a utilizar y de las características que deseamos que nuestro sistema de control tenga. A continuación se verán los diferentes tipos de placas[6].

- **Arduino UNO.**

Está basado en Atmega328, tiene 14 pines digitales de entrada-salida (de las cuales 6 se pueden utilizar como salidas PWM), 6 entradas analógicas. Contiene una conexión USB y un conector de alimentación y conector ICSP. Se puede conectar al PC mediante un cable USB. Esta placa se diferencia de las otras porque no utiliza el chip controlador FTDI USB-to-serial, en cambio tiene el ATMEGA 16U2 programado como convertidor USB a serie.

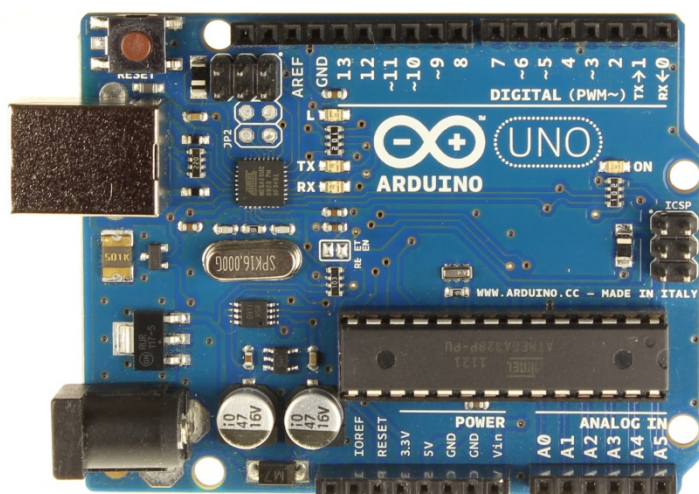


Ilustración 55: Placa Arduino UNO.

Las características de la placa son:

- Microcontrolador ATmega328, la placa funciona con 5 V.
- Tensión recomendada de entrada es 7-12 V, siendo la tensión de entrada límite de 6- 20 V.
- Corriente de la C.C por el pin de entrada-salida: 40 mA.
- Corriente de la C.C para el pin 3,3 V: 50 mA.
- Memoria flash de 32 Kb.
- SRAM 2 Kb y EEPROM 1 Kb.

- **Arduino DUE.**

Está basado en Atmel SAM3X8E, tiene 54 pines digitales de entrada-salida (de las cuales 12 se pueden utilizar como salidas PWM), 12 entradas analógicas. 4 UARTs (puertos serie de hardware) y 2 salidas DAC (convertidores de analógico a digital). También contiene conectores USB, un conector de alimentación, un conector ICSP, un conector JTAG en uno de los USB, en el que se pueden conectar otros dispositivos USB a la tarjeta (ratones, teclados...etc.).

Las características de la placa son:

- Microcontrolador AT91SAM3X8E, la placa funciona con 3,3 V.
- La tensión recomendada de entrada 7-12 V, siendo la tensión de entrada límite de 6-20 V.
- Corriente máxima de los pines de entrada/salida de 3,3 V: 800 mA.
- Corriente máxima de los pines de entrada/salida de 5 V: 800 mA.
- Memoria flash de 32 Kb.
- SRAM 96 Kb y velocidad de reloj 84 MHz.

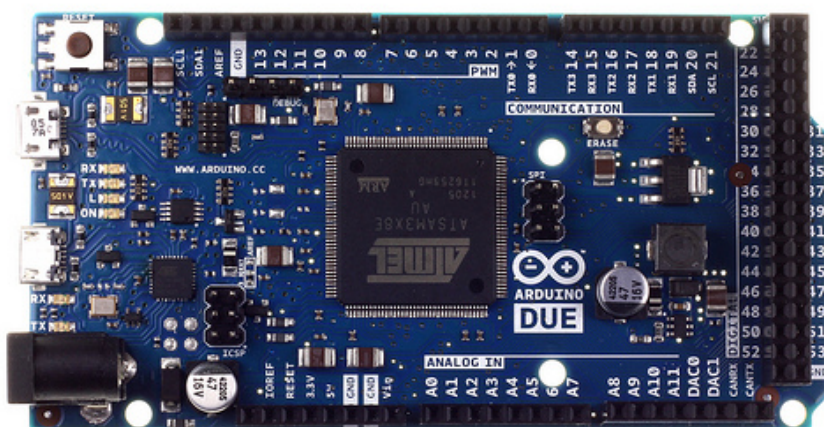


Ilustración 56: Placa Arduino DUE.

- **Arduino ADK.**

Está basado en ATmega 2560. Lleva una USB para conectar los teléfonos que están basados en Android. Tiene 54 pines digitales de entrada-salida (de las cuales 14 se pueden utilizar como salidas PWM), 16 entradas analógicas, 4 UARTs (puertos series hardware), un oscilador de cristal de 16 MHz, una conexión USB, un conector de alimentación y un conector ICSP. También lleva un circuito USB que permite comunicarse con los dispositivos USB y suministrarle alimentación.

Las características de la placa son:

- Microcontrolador Atmega2560, la placa funciona con 5 V.

- La tensión recomendada de entrada es 7-12 V, siendo la tensión de entrada límite de 6-20 V.
- Corriente máxima para todas las entradas/salidas: 40 mA.
- La corriente máxima de los pines de Entrada/Salida de 3,3 V: 50 mA.
- Memoria flash de 256 Kb.
- SRAM 8 Kb, EEPROM 4 Kb y velocidad de reloj 16 MHz.

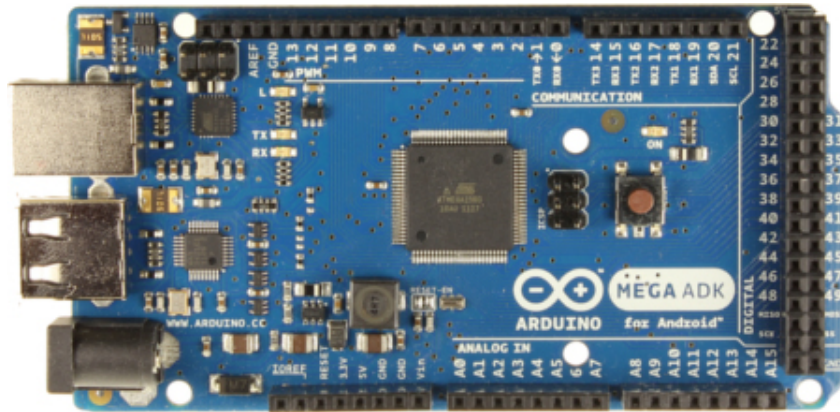


Ilustración 57: Placa Arduino ADK.

- **Arduino Mega2560.**

Está basado en ATmega 2560. Lleva una USB para conectar los teléfonos que están basados en Android. Tiene 54 pines digitales de entrada-salida (de las cuales 14 se pueden utilizar como salidas PWM), 16 entradas analógicas, 4 UARTs (puertos series hardware), un oscilador de cristal de 16 MHz, una conexión USB, un conector de alimentación y un conector ICSP.

Las características de la placa son:

- Microcontrolador Atmega2560, la placa funciona con 5 V.
- La tensión recomendada de entrada es 7-12 V, siendo la tensión de entrada límite de 6-20 V.
- Corriente máxima para todas las entradas/salidas: 40 mA.
- La corriente máxima de los pines de Entrada/Salida de 3,3 V: 50 mA.
- Memoria flash de 256 Kb.
- SRAM 8 Kb, EEPROM 4 Kb y velocidad de reloj 16 MHz.

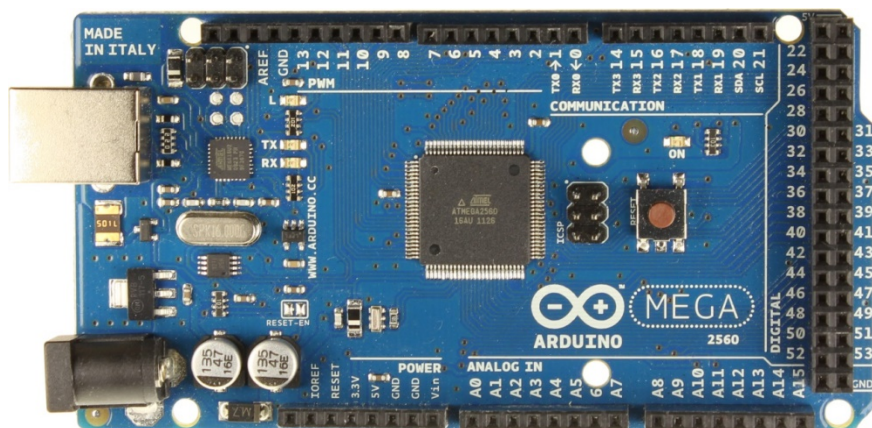


Ilustración 58: Placa Arduino Mega2560.

- **Arduino Nano.**

Está basado en ATmega 328, No tiene toma de alimentación y se programa a través de un cable mini-USB. Tiene 14 pines digitales de entrada-salida (de las cuales 6 se pueden utilizar como salidas PWM) y 8 entradas analógicas.

Las características de la placa son:

- Microcontrolador ATmega328, la placa funciona con 5 V.
- La tensión recomendada de entrada es 7-12 V, siendo la tensión de entrada límite de 6-20 V.
- Corriente máxima para todas entradas-salidas: 40 mA.
- Memoria flash de 32 Kb.
- SRAM 2 Kb, EEPROM 512 bytes y velocidad de reloj 16 MHz.



Ilustración 59: Placa Arduino Nano.

- **Arduino Leonardo.**

Está basado en ATmega 32u4. Tiene 20 pines digitales de entrada-salida, (de las cuales 7 se pueden utilizar como salidas PWM), 12 entradas analógicas, Un oscilador de cristal de 16 MHz , una conexión USB, un conector de alimentación y un conector ICSP. Esta

placa es diferente a todas las demás, porque incorpora en su interior la parte de comunicación USB y no necesita un microprocesador secundario, por lo tanto cuando se conecta al ordenador se reconoce como un ratón o un teclado.

Las características de la placa son:

- Microcontrolador ATmega 32u4, la placa funciona con 5 V.
- La tensión recomendada de entrada es 7-12 V, siendo la tensión de entrada límite de 6-20 V.
- Corriente máxima para todas las entradas-salidas: 40 mA.
- Corriente máxima de los pines de entrada-salida de 3,3 V: 50 mA.
- Memoria flash de 32 Kb.
- SRAM 2,5 Kb, EEPROM 1 Kb y velocidad de reloj 16 MHz.

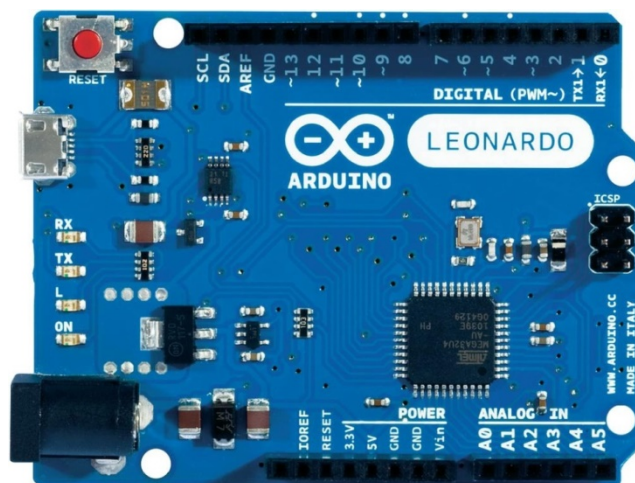


Ilustración 60: Placa Arduino Leonardo.

- **Arduino YUN.**

Es la combinación de un Arduino Leonardo con un chip Wifi que utiliza Linino (un MIPS GNU/Linux basado en openWRT). Incorpora Linux en la PCB de la placa Arduino Leonardo y están conectados los dos para ejecutar comandos en Linux, y se utiliza como una interfaz Ethernet y Wifi. Está basado en ATmega 32u4, tiene 20 pines digitales de entrada-salida (de las cuales 7 se pueden utilizar como salidas PWM), 12 entradas analógicas, un oscilador de cristal de 16 MHz, una conexión USB, un conector de alimentación y un conector ICSP. Esta placa al igual que la placa Leonardo, no necesita un microprocesador secundario, por lo tanto se conecta al ordenador como un ratón o un teclado.

Las características de la placa son:

- Microcontrolador Atmega 32u4, la placa funciona con 5 V.

- La tensión recomendada de entrada es 7-12 V, siendo la tensión de entrada límite de 6-20 V.
- Corriente máxima para todas las entradas-salidas: 40 mA.
- Corriente máxima de los pines de entrada-salida de 3,3 V: 50 mA.
- Memoria flash de 32 Kb.
- SRAM 2,5 Kb, EEPROM 1 b y velocidad de reloj 16 MHz.



Ilustración 61: Placa Arduino YUN.

- **Arduino Micro.**

Esta placa es igual que la placa Arduino Leonardo, pero en formato más pequeño. Está basado en ATmega 32u4, tiene 20 pines digitales de entrada-salida (de las cuales 7 se pueden utilizar como salidas PWM), 12 entradas analógicas, un oscilador de cristal de 16 MHz, una conexión micro USB y un conector ICSP. Esta placa es diferente a todas las demás, porque incorpora en su interior la parte de comunicación USB, y no necesita un microprocesador secundario, por lo tanto cuando se conecta al ordenador se reconoce como un ratón o un teclado.

Las características de la placa son:

- Microcontrolador ATmega 32u4, la placa funciona a 5 V.
- La tensión recomendada de entrada es 7-12 V, siendo la tensión de entrada límite de 6-20 V.
- Corriente máxima para todas las entradas-salidas: 40 mA.
- Corriente máxima de los pines de entrada-salida de 3,3 V: 50 mA.
- Memoria flash de 32 Kb.
- SRAM 2,5 Kb, EEPROM 1 Kb y velocidad de reloj 16 MHz.



Ilustración 62: Placa Arduino Micro.

- **Arduino Esplora.**

Se diferencia del resto de placas, a parte de su reducido tamaño y por su forma, en que dispone de una serie de sensores onboard. Es bueno para las personas que comienzan a dar sus primeros pasos en el mundo de la electrónica y están aprendiendo, de ahí su nombre. Incluye unos sensores, zumbador, botones, joystick, micrófono y un socket para conectar una pantalla a color TFT LCD. El mayor problema es su capacidad de conectividad, casi nula, ya que todo lo tiene integrado para los principiantes, una de las cosas que limita su capacidad y por lo que no se aconseja para gente que quiera profundizar algo más en la electrónica y desee mayor flexibilidad.

Las características de la placa son:

- Microcontrolador ATmega 32u4, la placa funciona a 5 V.
- La tensión recomendada de entrada es 7-12 V, siendo la tensión de entrada límite de 6-20 V.
- Corriente máxima para todas las entradas-salidas: 40 mA.
- Corriente máxima de los pines de entradas-salidas de 3,3 V: 50 mA.
- Incluye un acelerómetro, un sensor de temperatura, un sensor de luz, un zumbador, botones, joystick, micrófono y un socket para conectar una TFT LCD.
- Memoria flash de 32 Kb.
- SRAM de 2,5 Kb, 1 Kb de EEPROM y velocidad de reloj 16 MHz.

- **Ethernet W5100 escudo.**

Con esta placa se puede conectar Arduino a internet. Se basa en el chip W5100 WIZnet Ethernet, que proporciona una red (ip) de pila capaz de TCP y UDP, que soporta hasta cuatro conexiones de socket simultaneas. Se puede añadir una ranura de tarjeta micro-SD para almacenar y servir archivos a través de la red. Se adapta a todas las placas principales de Arduino (UNO, Mega2560...etc.) , tiene 14 entradas-salidas digitales (de

las cuales 4 se pueden utilizar como PWM) y 6 entradas analógicas. Tiene reservado desde 10 hasta 13 pines por SPI, 4 utilizados por la placa SD, y 2 desde W5100.

Las características de la placa son:

- Microcontrolador ATmega 328, la placa funciona con 5 V.
- La tensión recomendada de entrada es 7-12, siendo la tensión de entrada límite de 6-20 V.
- Corriente máxima para todas las entradas-salidas: 40 mA.
- Corriente máxima de los pines de entrada-salida de 3,3 V: 50 mA.
- Memoria flash de 32 Kb.
- SRAM 2Kb, EEPROM 1 Kb y velocidad de reloj 16 MHz.

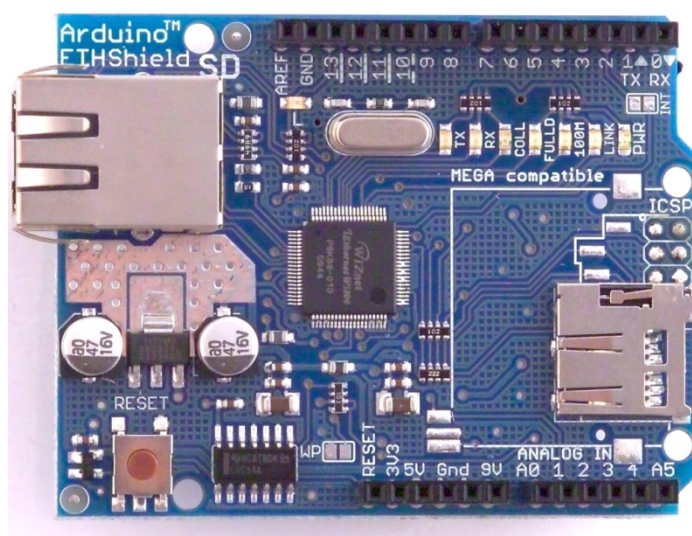


Ilustración 63: Placa Arduino Ethernet.

3.8.2. Shield Arduino.

Los shield son placas que se conectan directamente a la placa de Arduino, para expandir sus funcionalidades, como por ejemplo conexión de motores, generar una red Wifi, o muchos más shields que se verán a continuación y pueden ser de utilidad para el proyecto o expansión del mismo.

- **Arduino GSM.**

Con este shield se puede conectar Arduino a internet desde cualquier lugar, recibe y envía SMS, puede recibir y realizar llamadas de voz y de datos. Es compatible con Arduino UNO, mega y ADK, y con una pequeña modificación se puede utilizar para Leonardo. Se puede utilizar cualquier SIM de cualquier operadora.

Especificaciones técnicas:

- Tensión de trabajo 5 V, suministrado desde la placa Arduino.
- Conexión a través de GSM y GPRS.
- Requiere una placa Arduino, y la comunicación con este es mediante serial Software.



Ilustración 64: Shield GSM.

- **Arduino Wifi.**

Con este shield Arduino se puede conectar a internet sin cables, a una red Wifi. Incorpora una ranura micro SD y una conexión Micro-USB para la actualización de firmware Wifi. Contiene un conector R-SMA para ponerle una antena exterior.

Especificaciones técnicas:

- Tensión de trabajo 5 V, suministrado desde la placa Arduino.
- Conexión a través de redes 802.11 b/g.
- Tipos de cifrados WEP y WPA.
- Conexión con Arduino a través del puerto SPI a través de ICSP, por lo que es compatible con cualquier Arduino que tenga este puerto.
- Requiere una placa Arduino, y la comunicación con este es mediante serial Software.

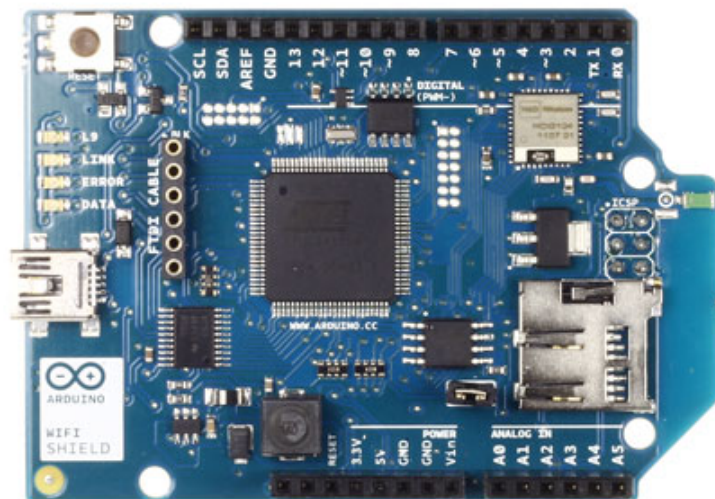


Ilustración 65: Shield Arduino Wifi.

- **Arduino motor.**

La placa motor es un controlador de puente completo, diseñado para manejar cargas inductivas, en este caso para los motores. Se puede controlar con facilidad la velocidad y dirección de 2 motores DC de forma independiente. También se puede medir el consumo de corriente de los motores. Contiene 2 canales separados (A y B) que usa 4 pines de la placa Arduino para variar la velocidad, dirección de rotación y freno rápido, haciendo un total de 8 pines de utilización, pudiendo utilizar cada canal por separado para controlar 2 motores de forma independiente.

Especificaciones técnicas:

- Tensión de trabajo 5 V, suministrado desde la placa Arduino.
- Corriente máxima por canal de 2 A, con un total de 4 amperios.

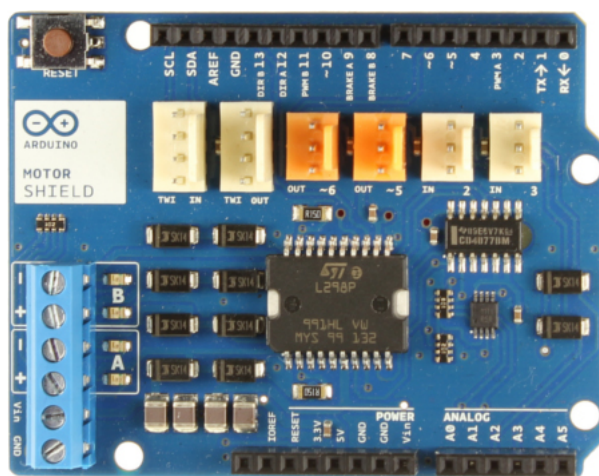


Ilustración 66: Shield Arduino motor.

- **Shield y módulos XBee.**

Son módulos para comunicaciones inalámbricas. Se pueden utilizar para conectar entre sí o crear redes de ordenadores, transmitir datos de una Arduino a PC, o para comunicar un Arduino a otro Arduino.



Ilustración 67: Arduino XBee Shield.

3.8.3. Sensores Arduino.

Los sensores de Arduino, ya vienen preparados para conectarlos directamente a nuestra placa Arduino, sin necesidad de soldar, aunque a veces a lo mejor es conveniente soldar para organizar mejor los elementos y ocupar menos espacio. Existen multitud de sensores ya hechos para Arduino, como pueden ser de temperatura, humedad, detección de gases, luminosidad, PH, detectores de presencia...etc. En este proyecto se utilizaran los sensores descritos a continuación [6, 7].

- **Sensor de medición de distancias ultrasónico (Sensor HC-SR04).**

Este sensor suele emplearse en robots para medir distancias, pero nosotros lo vamos a utilizar como sensor de nivel, para medir el nivel de agua de la piscina. Este sensor realiza mediciones en un rango de 2 a 450 cm con un ángulo máximo de 15 grados. La medición se realiza enviando una señal sonora, que al encontrarse con un objeto, esta señal rebota y es recibida por el mismo sensor. Al calcular el tiempo que tarda la señal en ir y volver, se mide la distancia a la que se encuentra el objeto.

Especificaciones técnicas:

- Voltaje de funcionamiento: 5 V.
- Corriente de trabajo: 15 mA.
- Frecuencia de trabajo: 40 KHz.
- Señal de salida: frecuencia de la señal eléctrica, 5 V de alto nivel y 0 V de bajo nivel.
- Angulo eficaz: $<15^\circ$.
- Resolución: 0,3 cm.
- Medición de ángulo: 30° .



Ilustración 68: Sensor de ultrasonidos HC-SR04.

- **Sensor de temperatura (Sensor DS18B20).**

El sensor DS18B20 es un sensor digital de temperatura con un rango de funcionamiento de $-55\text{ }^\circ\text{C}$ a $+125\text{ }^\circ\text{C}$. Utiliza como principio de funcionamiento el protocolo de comunicaciones One Wire diseñado por la empresa Dallas Semiconductor [20]. Este sensor puede ser utilizado para medir la temperatura de líquidos en tanques, recipientes, maquinaria agrícola, automotores...etc.

Especificaciones técnicas:

- Precisión: $\pm 0,5\text{ }^\circ\text{C}$.
- Alimentación de 3 a 5 V.
- La resolución de temperatura es seleccionable por el usuario de 9 a 12 bits.
- Comunicación 1 hilo (1-Wire), un solo pin.
- Cada dispositivo tiene un código de serie único de 64 bit almacenado en una ROM a bordo.



Ilustración 69: Sensor de temperatura DS18B20.

- **Sensor PIR.**

Los sensores PIR son capaces de medir la radiación emitida por los objetos. Estos sensores están formados por dos partes, cada una de ellas sensible a los IR. Cuando un cuerpo caliente pasa por delante del campo de detección del sensor, una de las dos partes detecta la diferencia de calor y genera una tensión entre las dos mitades de las partes. Sucede lo mismo cuando el cuerpo sale del campo de detección. De esta manera el sensor es capaz de detectar si ha habido movimiento. Estos sensores se suelen aplicar para detectar movimiento en oficinas, viviendas con sistemas domóticos integrados, centros comerciales, puertas automáticas...etc.

Especificaciones técnicas:

- Angulo de alcance: 110 °.
- Distancia de alcance: 7 m.
- Voltaje de funcionamiento: 4,5-20 Vdc.
- Consumo: 50 uA.



Ilustración 70: Sensor PIR Arduino I.

- **Sensor LDR.**

Un sensor LDR es una fotorresistencia que varía su valor en función de la luz existente en el ambiente. Cuanta más luz, menor resistencia. Suelen estar hechos de sulfuro de cadmio, el cual es un material semiconductor de alta resistencia. Estos sensores suelen utilizarse en controles de luminosidad en la calle, equipos de pruebas colorimétricas, en fotocopiadoras...etc.

Para su correcto funcionamiento, este sensor necesita un circuito de acondicionamiento. Este circuito es llamado divisor de tensión y su representación es la siguiente.

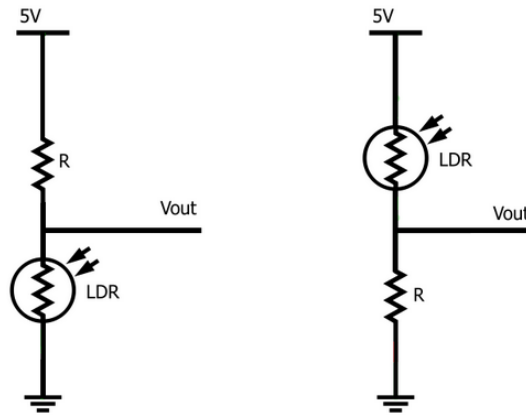


Ilustración 71: Circuito de acondicionamiento sensor LDR.

Si utilizamos el LDR como resistencia inferior del divisor de tensión, nos dará la tensión máxima cuando tengamos el LDR en plena oscuridad, ya que estará oponiendo el máximo de su resistencia al paso de la corriente derivándose esta por V_{out} al completo, si lo utilizamos como resistencia superior, el resultado será el inverso, tendremos la tensión máxima cuando esté completamente iluminado, ya que se comportara prácticamente como un circuito abierto, con una resistencia de $50\ \Omega$ a $100\ \Omega$.

Especificaciones técnicas:

- Son analógicos.
- Tienen un tiempo de respuesta corto, ideal para aplicaciones que requieran respuesta rápida.
- Varían su valor de acuerdo a la intensidad de la luz, $0,9\ \Omega$ por cada lux.



Ilustración 72: Sensor LDR.

- **Sensor de PH.**

Este sensor permite medir con un rango de funcionamiento de 0-14 PH, la acidez o ph de un líquido, gracias a su placa controladora que ofrece un valor analógico proporcional a la medición. El controlador tiene un potenciómetro multivuelta que permite la correcta calibración de la sonda. Estos sensores suelen aplicarse en farmacia, alimentos, tratamiento y purificación del agua, fabricación de papel...etc.

Especificaciones técnicas:

- Alimentación: 5 V.
- Temperatura de medición: 0-60 °C.
- Precisión: $\pm 0,1$ PH.
- Tiempo de respuesta: ≤ 1 min.
- Sonda de PH con conector BNC.
- Ajuste de ganancia.
- Indicador LED.

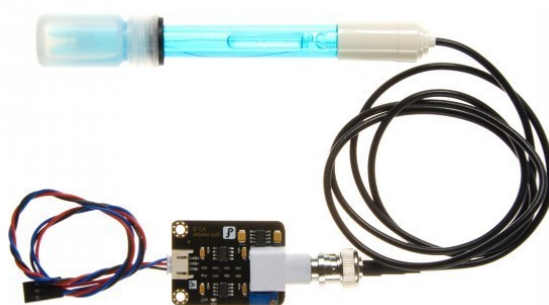


Ilustración 73: Sensor de PH.

- **Modulo Reloj en tiempo real (Tiny RTC I2C DS1307).**

El modulo que emplearemos es el Tiny RTC I2C que incorpora un circuito integrado DS1307, el cual es un reloj de tiempo real de Dallas Semiconductors, también incluye una batería tipo botón de litio que puede soportar al reloj por un mínimo de 9 años sin la alimentación de 5 V y una pequeña memoria EEPROM. [15, 16]

Especificaciones técnicas:

- Comunicación I2C.



Ilustración 74: Módulo de reloj Tiny RTC I2C.

3.8.4. Actuadores Arduino.

Los actuadores de Arduino, al igual que los sensores, ya vienen preparados para conectarlos directamente a nuestra placa Arduino. El actuador que vamos a utilizar en nuestro proyecto es el relé con bobina de 5 V para Arduino, el cual es el más importante y utilizado en la plataforma [6, 7].

- **Módulo de Relés Arduino.**

Este dispositivo permite activar cargas externas tales como bombillas, motores, bombas de agua, etc. Los relés pueden conmutar hasta 8 A a 35 V (70 W).

Especificaciones técnicas:

- 2 salidas relé.
- Pines independientes para conexionado.
- Bornes de conexionado con tornillo.

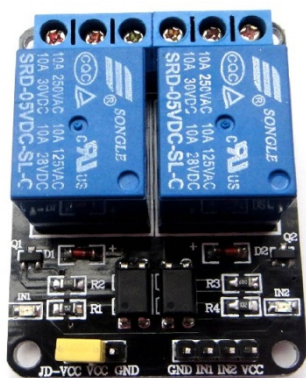


Ilustración 75: Relé Arduino.

3.8.5. Interfaces de operador de Arduino.

Estos elementos, al igual que los sensores y los actuadores, también vienen preparados para conectarlos directamente a nuestra placa sin necesidad de soldar. Los interfaces de operador que vamos a utilizar en nuestro proyecto para conseguir información sobre el sistema automático y controlarle con una pantalla LCD 16x2 y un zumbador. Además de varios botones [6, 7].

- **Pantalla LCD 16x2.**

Una pantalla LCD es un dispositivo diseñado para mostrar información de forma gráfica. En nuestro caso, hemos utilizado una pantalla estándar de 16x2 caracteres, es decir, que puede mostrar dos líneas de 16 caracteres cada una.

Especificaciones técnicas:

- Voltaje de alimentación: 5 V.
- Fondo amarillo y caracteres negros.

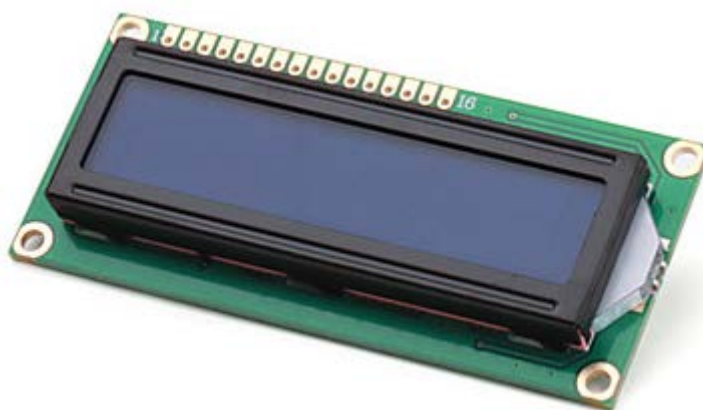


Ilustración 76: Pantalla LCD.

- **Zumbador Arduino.**

Un zumbador es un transductor electroacústico que produce un sonido. Es empleado como mecanismo de señalización y suele ser utilizado en automóviles y electrodomésticos. Consta de dos partes, un electroimán y una lámina metálica de acero.

Cuando se activa, la corriente pasa por la bobina del electroimán generando un campo magnético que hace vibrar la lámina de acero.

Especificaciones técnicas:

- Voltaje de alimentación: 3,3 V – 5 V.
- 3 pines.



Ilustración 77: Zumbador Arduino.

CAPÍTULO 4: SISTEMA DE CONTROL DE UNA PISCINA CLIMATIZADA

4. SISTEMA DE CONTROL DE UNA PISCINA CLIMATIZADA.

4.1. Introducción.

Como se explicó al principio de este documento, el objetivo de este proyecto es la creación de un sistema de control basado en Arduino de una piscina climatizada, el cual controlará la temperatura del agua, nivel del agua, la depuradora y la iluminación de la piscina, Además de medir el PH del agua de la piscina y registrar todas las variables medidas y controladas en una pantalla LCD. Para conseguir todo esto se debe construir una maqueta que simule una piscina climatizada, programar el sistema de control y diseñar e implementar todo el sistema de control.

Para la simulación de la piscina climatizada se ha optado por hacerlo con dos cajones de plástico que simulen la cubeta de la piscina y la red general de agua, y tuberías de plástico que simulen los circuitos y desagües de agua de la piscina climatizada.

Por otro lado para la programación del sistema de control, esto se hará con el programa Arduino que se basa en lenguaje de programación C/C++.

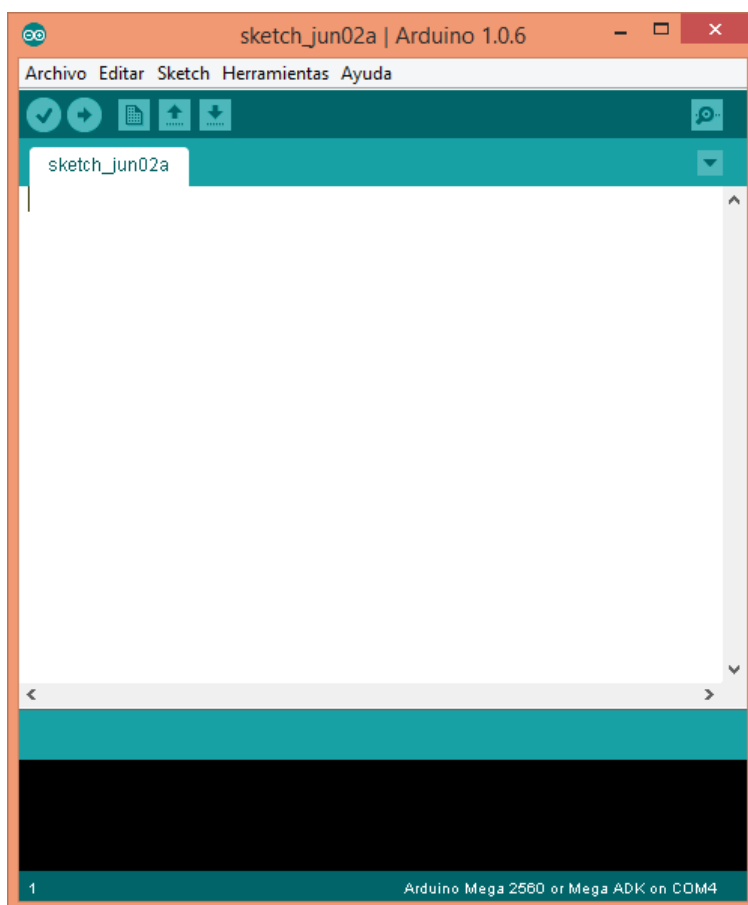


Ilustración 78: Programa Arduino.

Por último, para el diseño e implementación del sistema de control se han utilizado en su gran mayoría componentes Arduino al ser de bajo coste y tener buenas prestaciones.

A continuación se muestra el esquema de control del sistema automático de la piscina climatizada, en el que se enseña el conjunto de los dispositivos utilizados y la función que realizan de forma general.

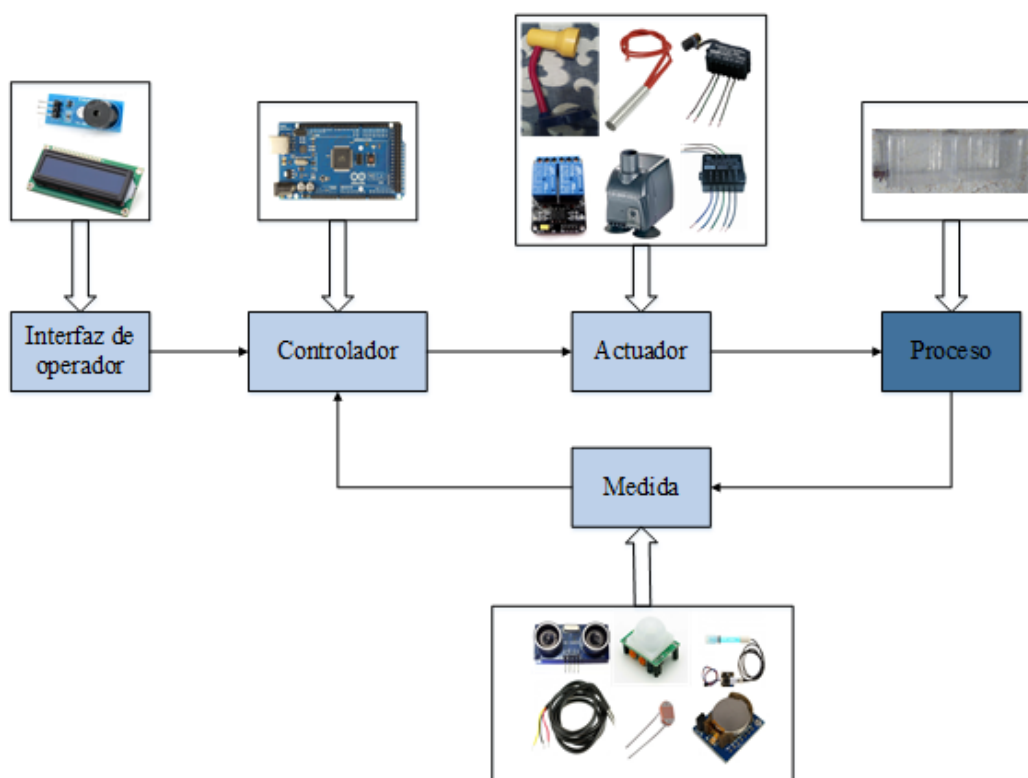


Ilustración 79: Esquema de control del sistema automático de la piscina climatizada I.

En el próximo punto se explica con más detalle la función de cada uno de los componentes del sistema de control y seguidamente en diferentes puntos se irá explicando el funcionamiento del control de la piscina climatizada.

4.2. Componentes del sistema de control.

Tras un estudio del comportamiento y características que deseamos que la piscina climatizada tenga y de una manera lo más económica posible, se ha llegado a una lista de componentes “definitiva”. A continuación se detallarán cada uno de los elementos que llevará la piscina climatizada.

4.2.1. Arduino Mega2560.

La placa Arduino que mejor se adapta al sistema de control de la piscina climatizada es la Arduino Mega2560. En el apartado 3.8 se explicó qué es y en qué consiste Arduino. A continuación se verá la placa Arduino y sus partes:

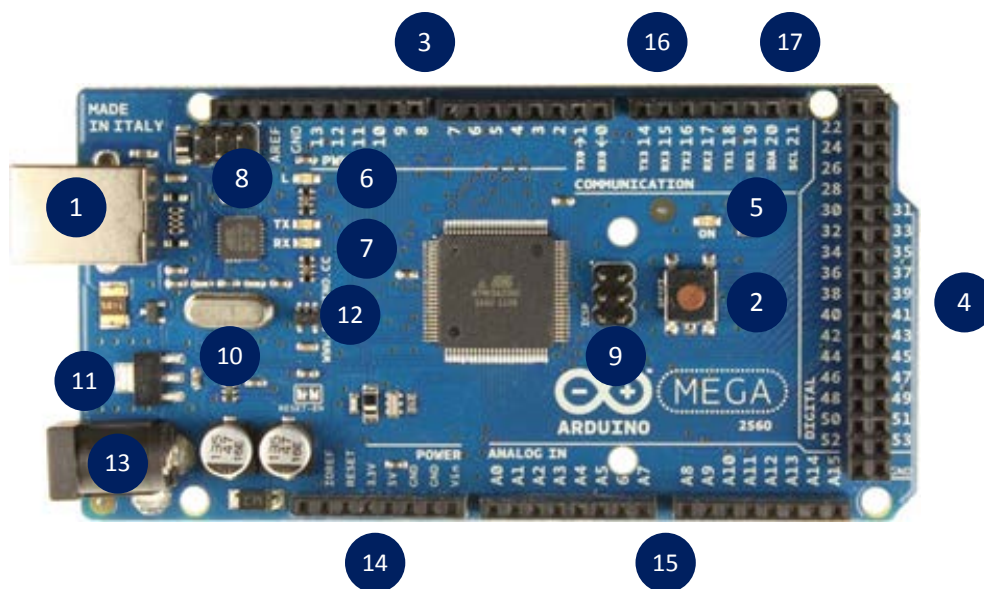


Ilustración 80: Placa Arduino Mega2560 detallada.

- 1) Conector USB para el cable Tipo AB.
- 2) Pulsador Reset.
- 3) Salidas PWM.
- 4) Pines de E/S digitales.
- 5) Led verde de la placa encendida.
- 6) Led naranja conectado al pin 13.
- 7) Led Tx (Transmisor) y Rx (Receptor) de la comunicación serial.
- 8) ATmega 16U2 encargado de la comunicación con el PC.
- 9) Puerto ICSP para programación serial.
- 10) Cristal de cuarzo de 16 MHz.
- 11) Regulador de voltaje 5 V.
- 12) Regulador de voltaje 3,3 V.
- 13) Conector hembra 2,1 mm con centro positivo.
- 14) Pines de alimentación.
- 15) Pines de entradas analógicas.
- 16) Pines de comunicación serial.
- 17) Pines de comunicación I2C.

La elección de esta placa se ha debido a que para este proyecto se necesitan más pines de entradas/salidas de las que la placa Arduino UNO puede ofrecer. Otro motivo por el que se ha elegido esta placa, es porque a diferencia de la Arduino UNO, esta placa tiene pines de comunicación I2C independientes de las entradas analógicas. Estos pines se utilizan para comunicar varios microcontroladores entre si. En este proyecto se utilizarán estos pines para comunicar un módulo reloj en tiempo real con la placa Arduino. Las entradas y salidas disponibles en esta placa son más que suficientes para la realización de este proyecto. Se utilizarán dos entradas analógicas, una para la fotorresistencia LDR y otra para el sensor de PH, 7 entradas digitales para los botones, sensor PIR y sensor de temperatura DS18B20 y 15 salidas digitales para los leds, zumbador, relés y pantalla LCD

Los shields y sensores que se utilizarán son compatibles con la Arduino Mega2560.

4.2.2. Sensor ultrasonidos HC-SR04.

Este sensor se utilizará para medir a que distancia se encuentra el agua, y por consiguiente a través del cálculo de valores de señales, saber cuál es el nivel del agua.

El HC-SR04 es un sensor de 4 pines, dos de alimentación “Vcc” y “Gnd” y dos para capturar la distancia “Trigger” y “Echo”. El sensor se alimenta a 5 VDC, por lo que se puede alimentar directamente a Arduino [11].

4.2.3. Sensor de temperatura DS18B20.

Con este sensor mediremos la temperatura del agua. Este sensor llamado DS18B20 es un sensor de 3 pines, dos de alimentación, rojo (Vcc) y negro (Gnd) y uno para el envío de datos, amarillo (data). El sensor se alimenta a 5 VDC, por lo que se puede alimentar directamente desde Arduino.

Para el correcto funcionamiento del sensor, además de conectarlo correctamente, es necesario instalar, para su posterior uso, dos librerías, la librería OneWire y la librería Dallas DS18B20. De esta manera mediremos la temperatura del agua de la piscina climatizada [20].

4.2.4. Fotorresistencia LDR.

Con este sensor mediremos la luminosidad que hay dentro de la piscina climatizada.

Una fotorresistencia LDR, al tratarse de un sensor pasivo, necesita de un circuito de acondicionamiento para transmitir una señal al controlador [14]. Como bien se detalló anteriormente en el punto 3.8.3.

4.2.5. Sensor PIR.

Con este sensor detectaremos la presencia o no de personas en la piscina climatizada.

El sensor PIR (Passive Infrared) es un sensor digital de 3 pines, dos de alimentación “Vcc” y “Gnd” y uno para el envío de señales al controlador. Además tiene dos potenciómetros para ajustar la sensibilidad de detección y el tiempo para volver al estado inicial. Este sensor es de fácil conexión y se puede alimentar a 5Vdc, por lo que se puede alimentar directamente desde Arduino [13].

4.2.6. Modulo Reloj en tiempo real (Tiny RTC I2C DS1307).

Este módulo proporcionará el año, mes, día y hora actual, y con este se podrá activar en un determinado momento cualquier tipo de dispositivo. Con él se activarán las dos bombas de agua, que simularán a la depuradora de una piscina climatizada.

El Tiny RTC I2C DS1307 tiene varios pines, pero solo se utilizarán cuatro de ellos, dos para alimentar el modulo “Vcc” y “Gnd” y los otros dos para la comunicación con la placa Arduino a través del bus de comunicación I2C, estos pines son el SCL (reloj) y el SDA (datos).

Para el correcto funcionamiento del módulo reloj, además de realizar las conexiones correctamente, se debe instalar y utilizar una librería, la librería RTCLib. De esta manera se podrá utilizar el tiempo como una variable [15, 16].

4.2.7. Sensor de PH.

Con este sensor se medirá la acidez o PH del agua de la piscina climatizada.

El sensor de PH de DFrobot es un sensor analógico de 3 pines, dos de alimentación, rojo (Vcc) y negro (Gnd) y uno para el envío de señales al controlador, azul (señal). Además tiene un potenciómetro multivuelta para una correcta calibración. El sensor se puede alimentar a 5 Vdc, por lo que se puede alimentar directamente desde Arduino [17].

4.2.8. Pantalla LCD 16x2.

La pantalla LCD 16x2 proporcionará información sobre la piscina climatizada y en conjunto con una serie de botones permitirá dar órdenes al sistema de control y cambiar sus parámetros de funcionamiento [21].

La pantalla LCD 16x2 tiene 16 pines. En la siguiente tabla se muestran las funciones de cada uno de los pines.

No	Símbolo	Función
1	VSS	Ground (0 V)
2	VDD	Alimentación 5 V
3	VO	Ajuste de brillo
4	RS	Selección de datos
5	R/W	Selección leer/escribir
6	E	Señal habilitada
7	DB0	Data bus
8	DB1	Data bus
9	DB2	Data bus
10	DB3	Data bus
11	DB4	Data bus
12	DB5	Data bus
13	DB6	Data bus
14	DB7	Data bus
15	LED_A	Alimentación LED +5 V
16	LED_K	Alimentación LED -5V

Tabla 6: Pines Pantalla LCD 16x2.

Para el correcto funcionamiento de la pantalla LCD, además de realizar las conexiones correctamente, se debe utilizar una librería, la librería LiquidCrystal. Esta librería ya viene instalada por defecto en Arduino.

4.2.9. Módulo de Relés Arduino.

Este dispositivo actuará como elemento de potencia para activar las bombas de agua y el flexo, que son los actuadores finales.

El relé Arduino tiene 4 pines en su parte derecha, dos para alimentar el dispositivo “Vcc” y “Gnd” y otros dos para excitar cada una de las bobinas de los respectivos relés “IN1” y “IN2” y 3 pines en su parte izquierda para alimentar los relés. Los relés se pueden alimentar de dos formas diferentes, una a través de Arduino uniendo “JD-Vcc” y “Vcc” con un jumper, que es la conexión por defecto, y otra quitando el jumper y alimentando con una fuente de alimentación externa 5 Vdc a “JD-Vcc” y tierra de la fuente de alimentación a “GND”. Esta conexión se realiza para evitar problemas de ruido eléctrico. Además tiene 3 bornes de conexionado, común, NC (normalmente cerrado) y NA (normalmente abierto), para actuar sobre los elementos finales, que son las bombas de agua y el flexo [12].

4.2.10. Zumbador.

Este dispositivo comunicará cuando el agua ha llegado a la temperatura deseada por el usuario.

El zumbador tiene 3 pines, dos de alimentación “Vcc” y “Gnd” y otro para activar la bobina del electroimán y hacer vibrar la lámina de acero, produciendo así un sonido. El zumbador se puede alimentar a 5 Vdc, por lo que se puede alimentar con la placa Arduino.

4.2.11. Bombas de Agua.

Las bombas de agua serán las encargadas de llenar o vaciar de agua la piscina climatizada. Serán los actuadores finales del control de nivel.

Estos dispositivos tienen que ser alimentados a 230 Vac, por lo que no se pueden alimentar directamente desde Arduino. Esto hace que tengamos que utilizar un elemento de potencia como es el relé Arduino para su alimentación y control.



Ilustración 81: Bomba de Agua para Acuario de la marca EHEIM.

4.2.12. Flexo.

El flexo simulará a las luminarias de la piscina climatizada, por lo tanto será el actuador final del control de iluminación.

Este elemento al igual que las bombas de agua, tiene que ser alimentado a 230 Vac, por lo que no se puede alimentar directamente desde Arduino, lo que hace que haya que utilizar un elemento de potencia como es el relé Arduino para su alimentación y control.



Ilustración 82: Flexo.

4.2.13. Regulador de Potencia Kemo.

Este dispositivo electrónico actuará como elemento de potencia, con el gobernaremos la resistencia calefactora a través de una salida PWM de la placa Arduino.

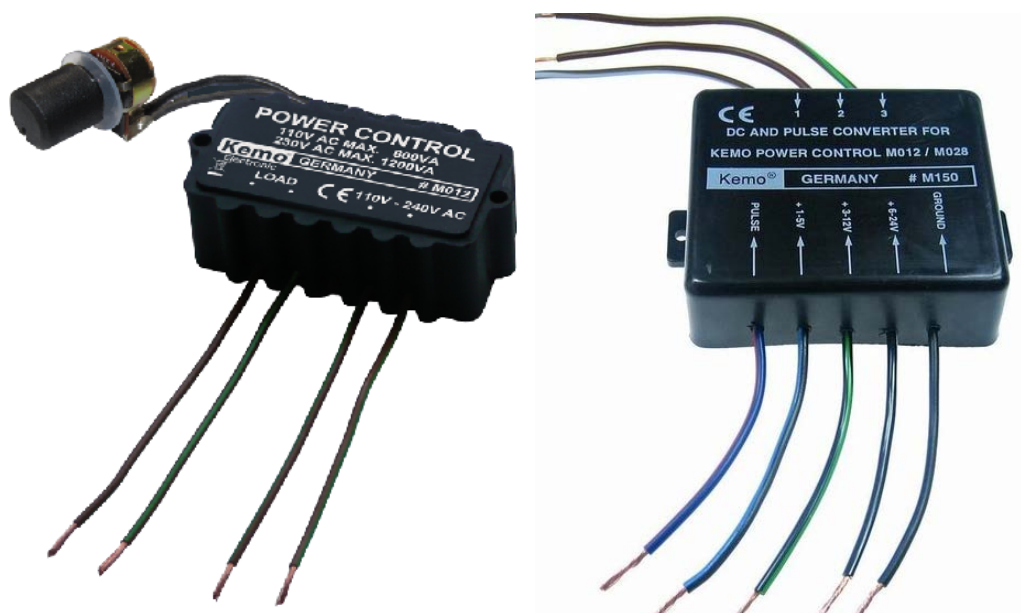


Ilustración 83: Regulador de potencia Kemo.

4.2.14. Resistencia calefactora 220 V/200 W.

La resistencia calefactora será la encargada de calentar el agua de la piscina climatizada, será el actuador final del control de temperatura del agua de la piscina climatizada.

Este elemento, como hemos dicho anteriormente será gobernado por el regulador de potencia antes citado.



Ilustración 84: Resistencia calefactora 220 V/200 W.

4.2.15. Fuente de alimentación externa 240 Vac – 9 Vdc 1 A.

Las placas Arduino pueden alimentarse de dos maneras, una manera es vía conexión USB, haciendo que la placa Arduino dependa de una PC o Tablet y otra forma es con una fuente de alimentación externa. Esta forma de alimentación se suele utilizar cuando se ha terminado de programar la placa Arduino y se ha finalizado el proyecto, haciendo así el proyecto más independiente.



Ilustración 85: Fuente de alimentación externa para Arduino.

4.3. Construcción maqueta piscina climatizada.

Para la construcción de la maqueta de la piscina climatizada se ha optado por comprar dos cajas de plástico, una que simula a la red general de agua y otra que simula a la piscina climatizada, y un grifo o válvula manual que simulará perturbaciones en el sistema y eliminará por completo todo agua que se encuentre en la piscina cuando está se quiera vaciar.



Ilustración 86: Cajas de plástico y grifo o válvula manual.

A continuación se mostrara paso a paso el montaje de la maqueta de la piscina climatizada.

Se ha decidido unir las dos cajas de plástico para formar una maqueta más compacta y cómoda de manejar y transportar. Para ello se han empleado bridas y demás herramientas, como se muestra en la siguiente ilustración.



Ilustración 87: Herramientas utilizadas para construir la piscina climatizada.

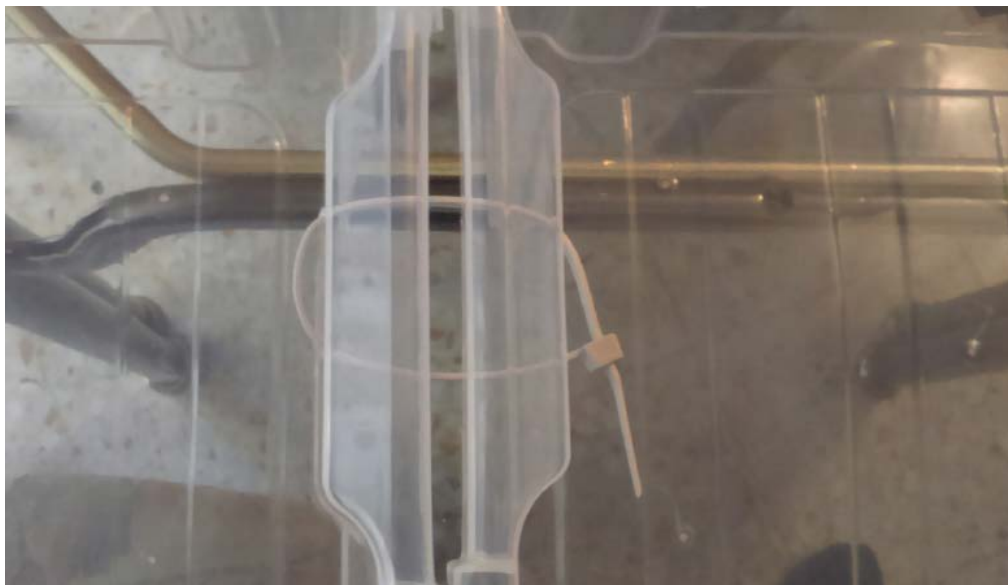


Ilustración 88: Unión de las dos cajas de plástico.

Después de unir las dos cajas de plástico, se ha llevado a cabo la instalación del grifo o válvula manual utilizando las herramientas antes citadas.



Ilustración 89: Instalación grifo o válvula manual.

Con esto, queda construida la maqueta de la piscina climatizada.



Ilustración 90: Maqueta piscina climatizada.

Más adelante se explicará detalladamente la instalación del sistema de control de la piscina climatizada

4.4. Control de Nivel de agua de la piscina climatizada.

El sistema de control de nivel de agua de la piscina climatizada está compuesto por una pantalla LCD y varios botones como interfaz de operador, una placa Arduino como controlador del sistema automático, dos relés y dos bombas de agua como actuadores del sistema automático y un sensor de ultrasonidos como aparato de medida del nivel de agua. A continuación se muestra el esquema de control del sistema automático de nivel de agua de la piscina climatizada, en el que se enseña más detalladamente los dispositivos utilizados.

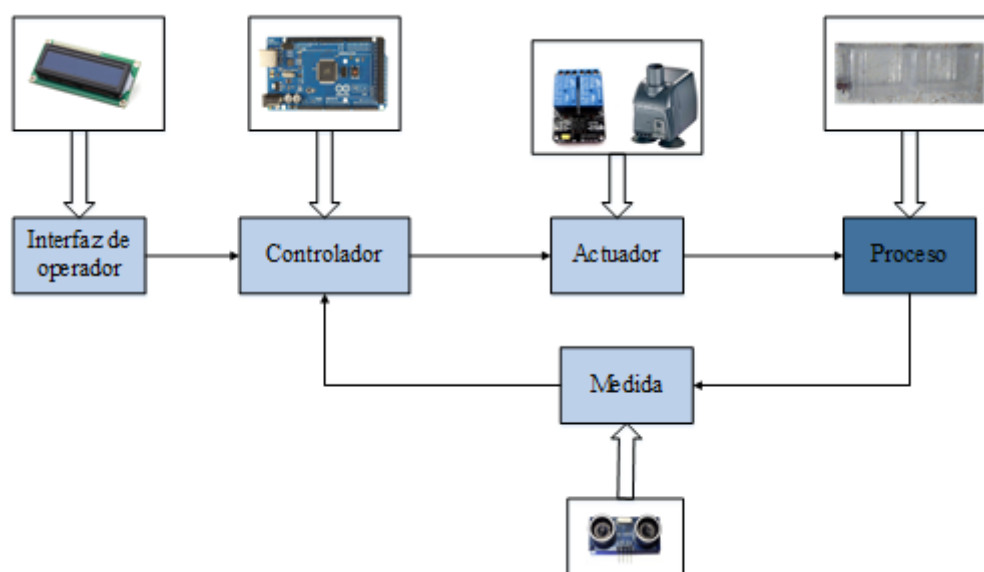


Ilustración 91: Esquema de control del sistema automático de nivel de agua de la piscina climatizada.

4.4.1. Instalación del sistema de control de nivel de agua de la piscina climatizada.

Primero de todo se han instalado las bombas de agua, una al fondo de cada caja de plástico, y después el circuito de tuberías de la piscina climatizada.



Ilustración 92: Instalación bombas de agua.



Ilustración 93: Instalación circuito de tuberías de la piscina climatizada.

Seguidamente, en la tapa de la caja de plástico que simula a la piscina climatizada se ha instalado el sensor de ultrasonidos, que medirá el nivel de agua.



Ilustración 94: Instalación sensor de ultrasonidos.

Y en cuanto a los relés, la placa Arduino y la pantalla LCD, estarán unidos a una protoboard, como se ve en la ilustración siguiente.

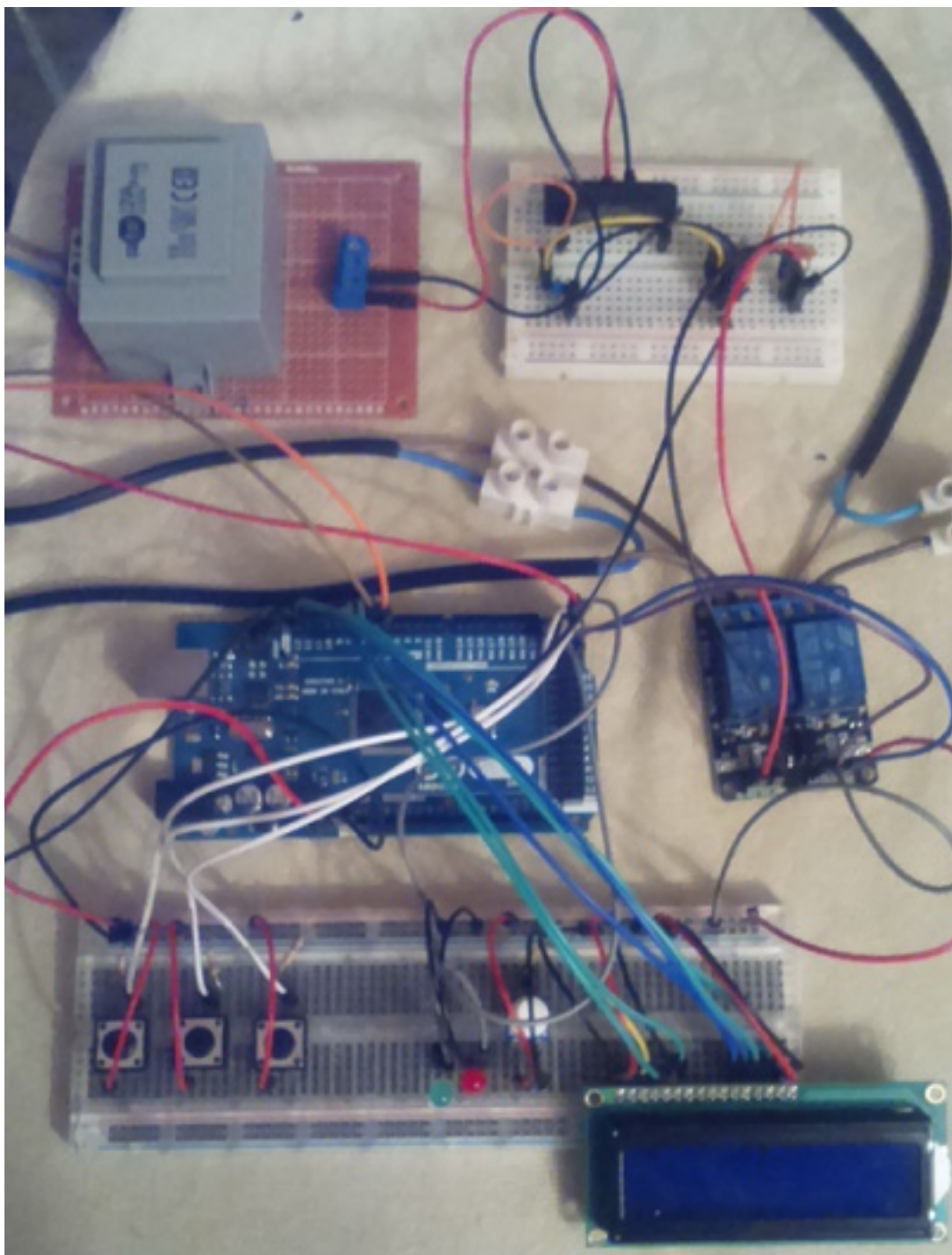


Ilustración 95: Instalación del control de nivel de agua de la piscina de la piscina climatizada.

El cableado que aparece en esta imagen se explicará detalladamente en el apartado 4.4.4. Esquema de conexionado del control de nivel de agua de la piscina climatizada.

4.4.2. Descripción funcional del control de nivel de agua de la piscina climatizada.

El sistema de control de nivel de agua de la piscina climatizada funciona de la siguiente manera. Al encender el sistema de control, el sensor de ultrasonidos envía una señal eléctrica a la placa Arduino diciendo a que distancia se encuentra el agua. De esta manera y a través de varias fórmulas que se explicarán detalladamente en el apartado 4.4.5, la placa Arduino sabrá cuál es el nivel de agua. Dependiendo cual sea el nivel de agua, la placa Arduino enviará unas ordenes u otras, comportándose el sistema de manera diferente, dependiendo de la orden enviada. Si el nivel de agua de la piscina climatizada está por debajo del SP o valor deseado de nivel, el controlador o placa Arduino mandará dos señales eléctricas, una a un relé para que active la bomba de agua de llenado y otra a un led verde para que se encienda. Esto será así hasta que el sensor de ultrasonidos detecte la distancia correspondiente al SP. En ese momento la placa Arduino mandará desactivar la bomba de agua de llenado y el led verde.

Por otro lado si se desea vaciar la piscina climatizada, esto se podrá hacer de tres maneras. Una activando la bomba de agua de vaciado y el led rojo, que indica que se está vaciando la piscina climatizada, desde el interfaz de operador (pantalla LCD). Otra manera de vaciar la piscina climatizada es abriendo el grifo o válvula manual. Y por último la forma más eficiente de las tres, abriendo el grifo o válvula manual y activando la bomba de agua de vaciado. La bomba de agua de vaciado y el led rojo se desactivarán cuando el nivel de agua sea igual a 0 cm.

El SP o valor deseado de nivel podrá ser cambiado en cualquier momento por el usuario desde la pantalla LCD.



Ilustración 96: Pantalla LCD en el control de nivel de agua de la piscina climatizada.

El sistema de control del nivel de agua de la piscina climatizada ha sido diseñado para tener el control del nivel de agua en todo momento. A continuación se muestra el diagrama de flujo del sistema automático del control de nivel de agua de la piscina climatizada.

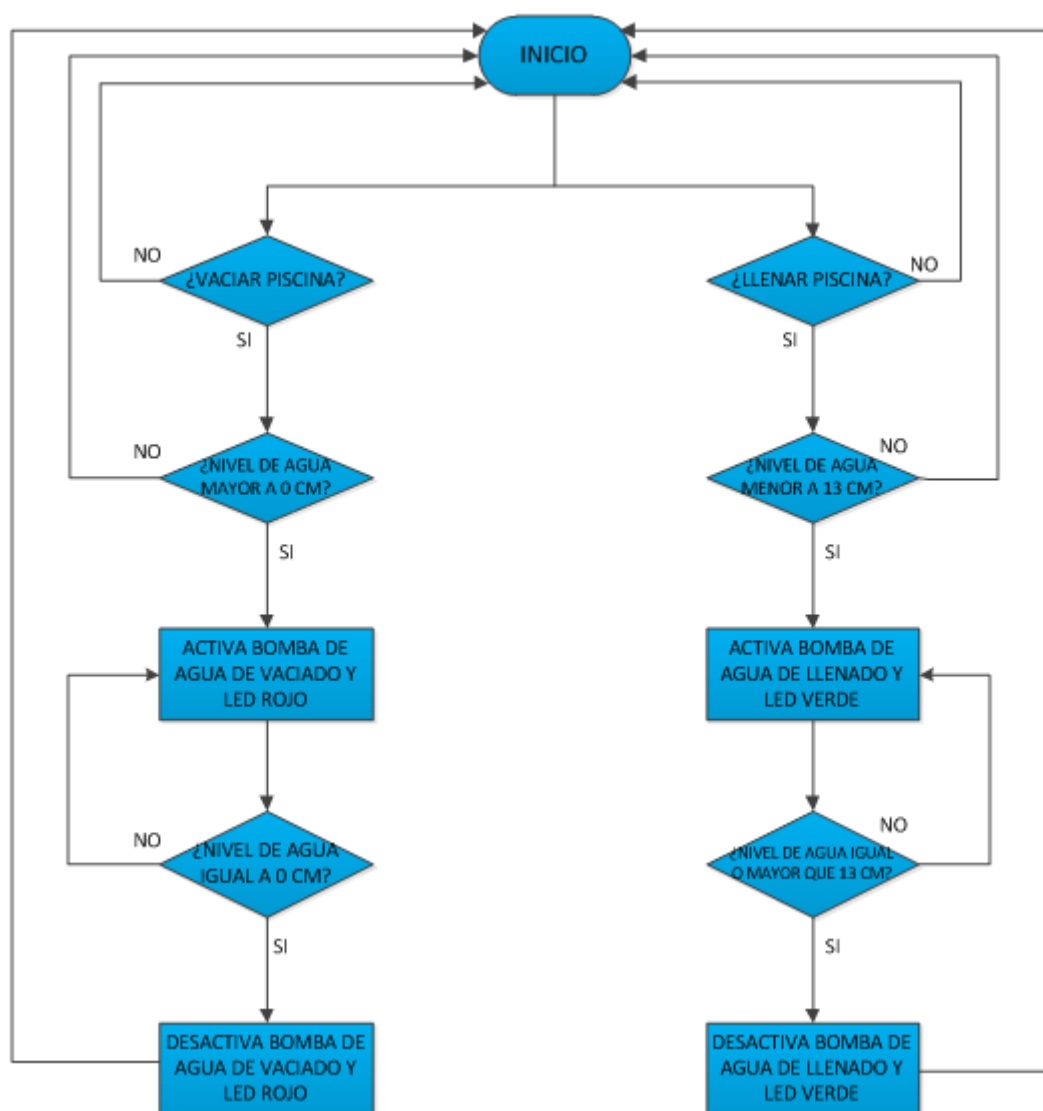


Ilustración 97: Diagrama de flujo del control de nivel de agua de la piscina climatizada.

4.4.3. Esquema de instrumentación del control de nivel de agua de la piscina climatizada.

En este esquema se muestran los equipos e instrumentos utilizados para controlar el nivel de agua de la piscina climatizada y el flujo del agua por las tuberías.

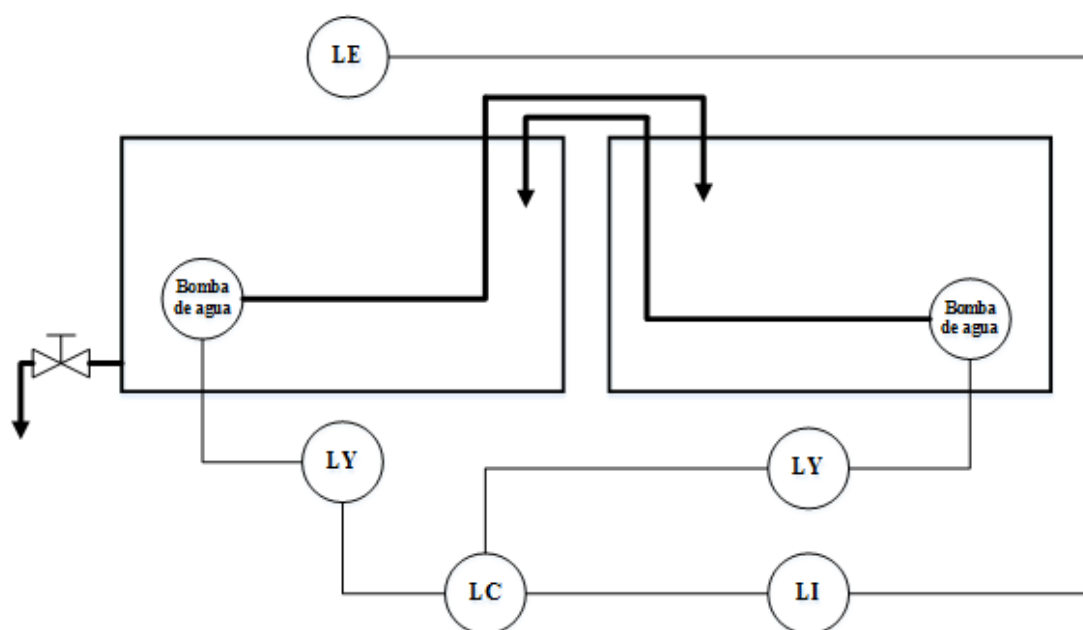


Ilustración 98: Esquema de instrumentación del control de nivel de agua de la piscina climatizada.

Donde:

LE: Sensor de nivel (Sensor de ultrasonidos HC-SR04), para medir el nivel de agua de la piscina climatizada.

LI: Indicador de nivel (Pantalla LCD), para mostrar el nivel de agua de la piscina climatizada.

LC: Controlador de nivel (Placa Arduino Mega2560), para controlar el nivel de agua de la piscina climatizada.

LY: Relé de nivel (Relés Arduino), para activar las bombas de agua cuando el controlador de nivel (Placa Arduino Mega2560) lo ordene.

4.4.4. Esquema de conexionado del control de nivel de agua de la piscina climatizada.

En este esquema se muestran las diferentes conexiones eléctricas que hay que realizar en el control de nivel de agua de la piscina climatizada.

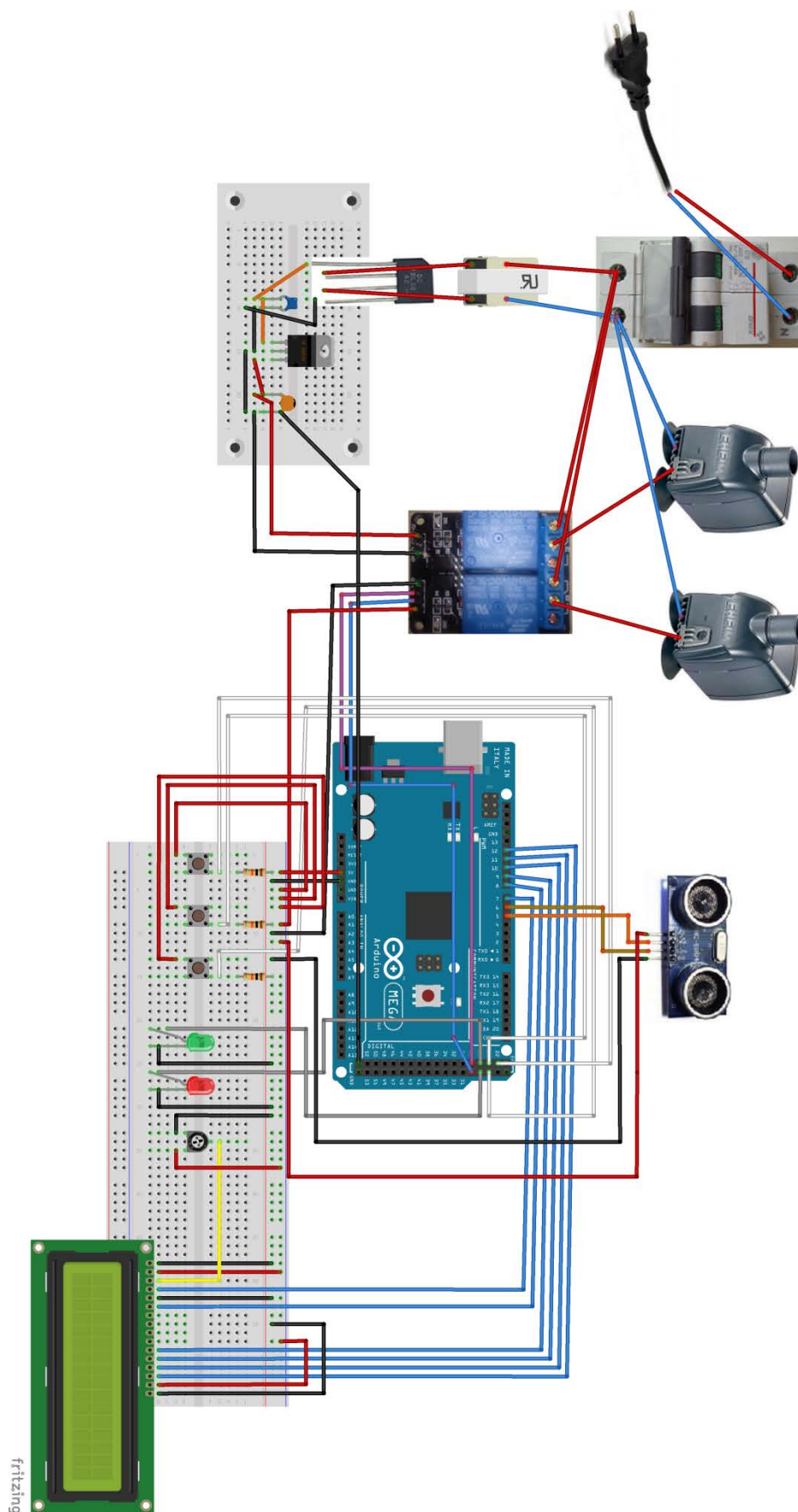


Ilustración 99: Esquema de conexionado del control de nivel de la piscina climatizada.

A continuación se explicará con detalle el esquema de conexionado del control de nivel de agua de la piscina climatizada.

El orden que se seguirá para explicar el esquema de conexionado del control de nivel de agua de la piscina climatizada será el siguiente:

1. Actuación: En esta parte se hablará del conexionado de las bombas de agua y de los relés.
2. Medida: En esta parte se hablará del conexionado del sensor de ultrasonidos.
3. Control: En esta parte se hablará de la placa Arduino y de los dispositivos que ofrecen información del control de nivel de agua de la piscina climatizada y permiten dar órdenes al sistema automático, como son, la pantalla LCD, varios botones y dos leds.

En la parte de actuación, los relés son alimentados por la fuente de alimentación fija de 5 Vdc. Los pines del módulo de relés que hay que conectar para alimentar los relés son el “JD-Vcc” a 5 Vdc y el “GND” a la masa de la fuente de alimentación. Por otra parte para alimentar el módulo de relés hay que conectar el “Vcc” del módulo de relés al “Vcc” de la parte de alimentación de la placa Arduino y el “GND” del módulo de relés al “GND” de la parte de alimentación de la placa Arduino. Y para excitar las bobinas de los relés para activar las bombas de agua, hay que conectar los pines “IN1” e “IN2” a las salidas digitales de la placa Arduino “28” Y “29”. En cuanto al conexionado de las bombas de agua hay que decir que se han conectado normalmente abiertas. Más adelante en el apartado 4.4.6. y 4.4.7. se explicará el porqué de la fuente de alimentación externa y los elementos y el conexionado que la forman.

En la parte de medida, el sensor de ultrasonidos tiene 4 pines , dos de alimentación que son “Vcc” y “GND”, uno de salida de señal que es “Trigger” y otro de entrada de señal que es “Echo”. El pin “Vcc” va conectado a los 5 Vdc de la protoboard, el pin “GND” al “GND” de la protoboard, el pin “Trigger” al pin “5” de la placa Arduino y el pin “Echo” al pin “6” de la placa Arduino.

Y por último en la parte de control , a los botones se les ha conectado una resistencia pulldown o resistencia a tierra de 10 K Ω para evitar que haya falsos contactos, el llamado efecto rebote. El botón 1(mode) ira conectado al pin “22”, el botón 2(up) al pin “24”, el botón 3(down) al pin “25”, el led verde al pin “27” y el led rojo al pin “26”. En cuanto a la pantalla LCD, esta se ha conectado siguiendo la siguiente tabla.

Nº pin pantalla LCD	Símbolo	Función	Nº pin placa Arduino
1	VSS	Ground (0 V)	GND
2	VDD	Alimentación 5 V	Vcc
3	VO	Ajuste de brillo	Salida potenciómetro
4	RS	Selección de datos	7
5	R/W	Selección leer/escribir	GND
6	E	Señal habilitada	8
7	DB0	Data bus	-
8	DB1	Data bus	-
9	DB2	Data bus	-
10	DB3	Data bus	-
11	DB4	Data bus	9
12	DB5	Data bus	10
13	DB6	Data bus	11
14	DB7	Data bus	12
15	LED_A	Alimentación LED +5 V	Vcc
16	LED_K	Alimentación LED - 5V	GND

Tabla 7: Conexiones pantalla LCD y placa Arduino Mega2560.

4.4.5. Programación en Arduino del control de nivel de agua de la piscina climatizada.

En este apartado se verá el código que hace todas las funciones del control de nivel de agua de la piscina climatizada anteriormente dichas en la descripción funcional.

Cabe destacar en este apartado como se mide el nivel del agua a través del sensor de ultrasonidos y de la aplicación de varias fórmulas en el código.

Para medir el nivel de agua, primero de todo se debe medir a que distancia se encuentra el agua. Para ello hay que generar un pulso en el pin Trigger del sensor, de un ancho o tiempo de 10 microsegundos como mínimo y al mismo tiempo monitorizar la señal que llega al pin Echo del sensor. La distancia calculada por el sensor corresponde a la siguiente ecuación [11].

$$Distancia = \frac{Ancho\ de\ pulso \cdot Velocidad\ de\ sonido}{2}$$

Pero se necesita conocer la distancia en cm, por lo que se calcula cuánto se tarda en recorrer 1 cm. Sabiendo cual es la velocidad del sonido, que es 343 m/s, se sabe que 1 cm se recorrerá en 34300 cm/s. Entonces, aplicando la fórmula:

$$Distancia = Velocidad \cdot tiempo$$

Se tiene,

$$1cm = 34300 \cdot t$$

Por lo tanto,

$$t = 29,15 \mu s$$

Por lo que finalmente, la fórmula para calcular la distancia y la que se debe aplicar en el sketch de programación será:

$$distancia = \left(\frac{tiempo}{2} \right) / 29$$

Una vez obtenida la distancia, se debe calcular el nivel de agua. Para ello se aplicará el cálculo de valores de las señales. La fórmula que se debe aplicar sería la siguiente:

$$nivel(cm) = \frac{distancia - Rango\ inferior(distancia)}{Rango\ superior(distancia) - Rango\ inferior(distancia)} \cdot (Rango\ superior(nivel) - Rango\ inferior(nivel)) + (Rango\ superior(nivel))$$

De esta manera se mediría el nivel de agua de la piscina climatizada.

También decir que se ha utilizado la librería “LiquidCrystal.h” para la utilización de la pantalla LCD.

Todo lo citado anteriormente en este apartado ha sido empleado en el código abajo escrito.

```
#include <LiquidCrystal.h>

LiquidCrystal lcd(7, 8, 9, 10, 11, 12);
```

```

int trigger=5;
int echo=6;
int mode=22;
int up=24;
int down=25;
int numeroPulsaciones=0;
String vaciado="No";
String llenado="Si";
int ledVacio=26;
int ledLlenado=27;
int bombaVacio=28;
int bombaLlenado=29;
int spNivel=5;

long distancia;
long nivel;
long tiempo;

void setup(){
  Serial.begin(9600);
  lcd.begin(16,2);
  pinMode(trigger,OUTPUT);
  pinMode(echo,INPUT);
  pinMode(mode,INPUT);
  pinMode(up,INPUT);
  pinMode(down,INPUT);
  pinMode(ledVacio,OUTPUT);
  pinMode(ledLlenado,OUTPUT);
  pinMode(bombaVacio,OUTPUT);
  pinMode(bombaLlenado,OUTPUT);
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.write("Eduardo Valero");
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.write("TFG: Piscina");
  delay(1000);
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.write("Inicializando");
  lcd.setCursor(13,1);
  for(int mover=0;mover<3;mover++){
    lcd.write(".");
    delay(1000);
  }
  lcd.clear();
}

void loop(){

  digitalWrite(trigger,LOW);//Creación del disparo.
  delayMicroseconds(2);
  digitalWrite(trigger,HIGH);//Flanco ascendente.
  delayMicroseconds(10);//Duración del pulso.
  digitalWrite(trigger,LOW);//Flanco descendente.

  tiempo=pulseIn(echo,HIGH);//Recepción del eco del disparo.

  distancia=(tiempo/2)/29;//Calculo del nivel de agua.
  nivel=((distancia-20)/(1.7-20))*((20-0)+(0));
  Serial.print(distancia);
  Serial.println(nivel);
}

```

```

if(digitalRead(mode)==HIGH){

    delay(200);
    numeroPulsaciones=numeroPulsaciones+1;
    lcd.clear();

}

if(numeroPulsaciones==4){

    numeroPulsaciones=0;

}

switch(numeroPulsaciones){

case 0:

    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.write("Nivel: ");
    lcd.setCursor(7,0);
    delay(300);
    lcd.print(nivel);
    lcd.setCursor(13,0);
    lcd.print("cm");
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.write("SP: ");
    lcd.setCursor(4,1);
    lcd.print(spNivel);

    if(digitalRead(up)==HIGH){
        spNivel=spNivel+1;

    }

    if(digitalRead(down)==HIGH){
        spNivel=spNivel-1;

    }
    break;

case 1:
    lcd.begin(16,2);
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.setCursor(6,0);
    lcd.print("Nivel");
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("*****");
    break;

case 2:

    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.write("LlenarPiscina:");
    lcd.setCursor(14,0);
    lcd.print(llenado);

    if(digitalRead(up)==HIGH){
        llenado="Si";
    }

```

```

    }

    else if(digitalRead(down)==HIGH){
        llenado="No";
    }

    break;

case 3:

    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.write("VaciarPiscina:");
    lcd.setCursor(14,0);
    lcd.print(vaciado);

    if(digitalRead(up)==HIGH){
        vaciado="Si";
    }

    else if(digitalRead(down)==HIGH){
        vaciado="No";
    }

    break;

}

if(nivel<spNivel && llenado.equals("Si")){
    digitalWrite(ledLlenado,HIGH);
    digitalWrite(bombaLlenado,HIGH);
    digitalWrite(ledVacio,LOW);
    digitalWrite(bombaVacio,LOW);
    vaciado="No";
}

else if(nivel==spNivel){
    digitalWrite(ledLlenado,LOW);
    digitalWrite(bombaLlenado,LOW);
    digitalWrite(bombaVacio,LOW);
    digitalWrite(ledVacio,LOW);
}

else if (nivel>spNivel){
    digitalWrite(bombaVacio,HIGH);
    digitalWrite(ledVacio,HIGH);
}

else if(nivel<=0){
    digitalWrite(ledVacio,LOW);
    digitalWrite(bombaVacio,LOW);
}

else if(llenado.equals("No")){

```

```
        digitalWrite(ledLlenado, LOW);
        digitalWrite(bombaLlenado, LOW);

    }

    if(vaciado.equals("Si") && nivel>0){
        digitalWrite(bombaVacio, HIGH);
        digitalWrite(bombaLlenado, LOW);
        digitalWrite(ledVacio, HIGH);
        digitalWrite(ledLlenado, LOW);
        llenado="No";
        spNivel=0;

    }

    else if(vaciado.equals("No")){
        digitalWrite(ledVacio, LOW);
        digitalWrite(bombaVacio, LOW);

    }

}
```

4.4.6. Problemáticas encontradas en el control de nivel de agua de la piscina climatizada.

A la hora de poner en funcionamiento el sistema de control de nivel de agua de la piscina climatizada ocurrió un problema. Cuando se activaba alguna de las bombas de agua, la pantalla LCD se apagaba o aparecían caracteres raros que impedían controlar el sistema y ver la información que ofrecía la pantalla LCD. Tras buscar información del problema, se encontró que esto era debido a que al activar alguna de las bombas de agua a través de los relés, se producía un ruido eléctrico al que la electrónica de la placa Arduino Mega2560 no podía hacer frente.

4.4.7. Soluciones a las problemáticas encontradas en el control de nivel de agua de la piscina climatizada.

Este problema se resolvió construyendo una fuente de alimentación de 5 Vdc para alimentar los relés y uniendo las masas de la fuente de alimentación y de la placa Arduino [12]. Como se puede ver en el esquema de conexión del control de nivel de agua de la piscina climatizada.

A continuación se muestran las Ilustraciones del esquema electrónico de la fuente de alimentación construida y de la fuente de alimentación montada en la protoboard.

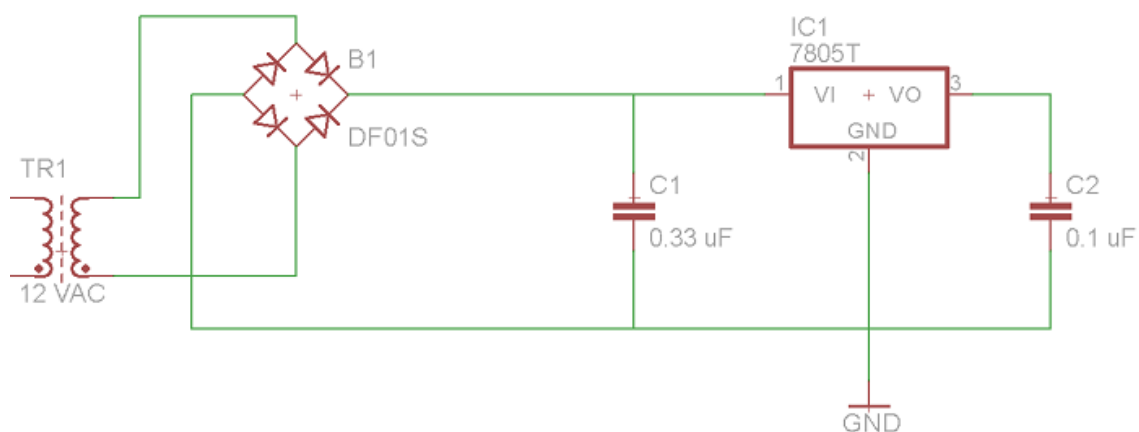


Ilustración 100: Esquema electrónico de fuente de alimentación fija de 5 Vdc.

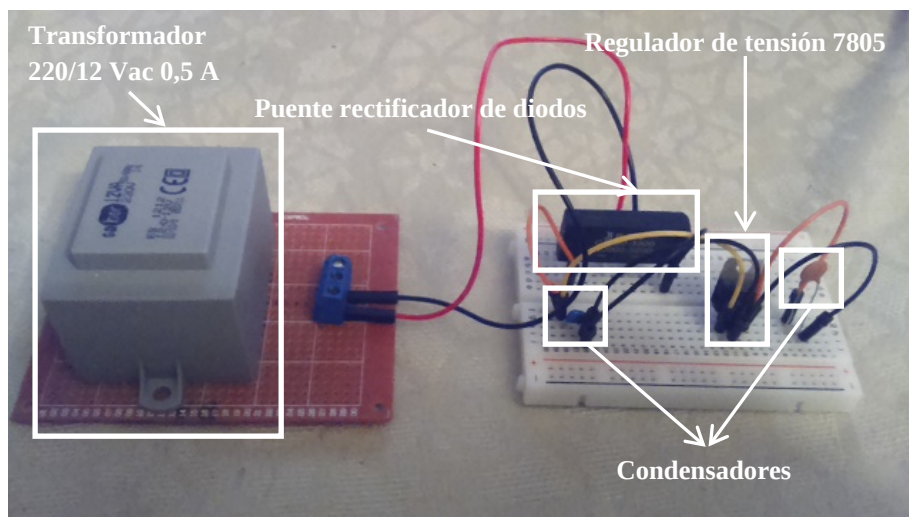


Ilustración 101: Fuente de alimentación fija de 5 Vdc.

La fuente de alimentación consta de un transformador de 220/12 Vac 0,5 A, un puente rectificador de diodos para convertir la corriente alterna en corriente continua, dos condensadores para filtrar la señal y un regulador de tensión 7805. De esta forma conseguimos una señal eléctrica de 5 Vdc.

4.5. Control de iluminación de la piscina climatizada.

El sistema de control de iluminación de la piscina climatizada está compuesto por una pantalla LCD y varios botones como interfaz de operador, una placa Arduino como controlador del sistema automático, un sensor PIR y una fotorresistencia LDR como dispositivos de medida y un flexo y un relé como actuadores. A continuación se muestra el esquema de control del sistema automático de iluminación de la piscina climatizada, en el que se enseña más detalladamente los dispositivos utilizados.

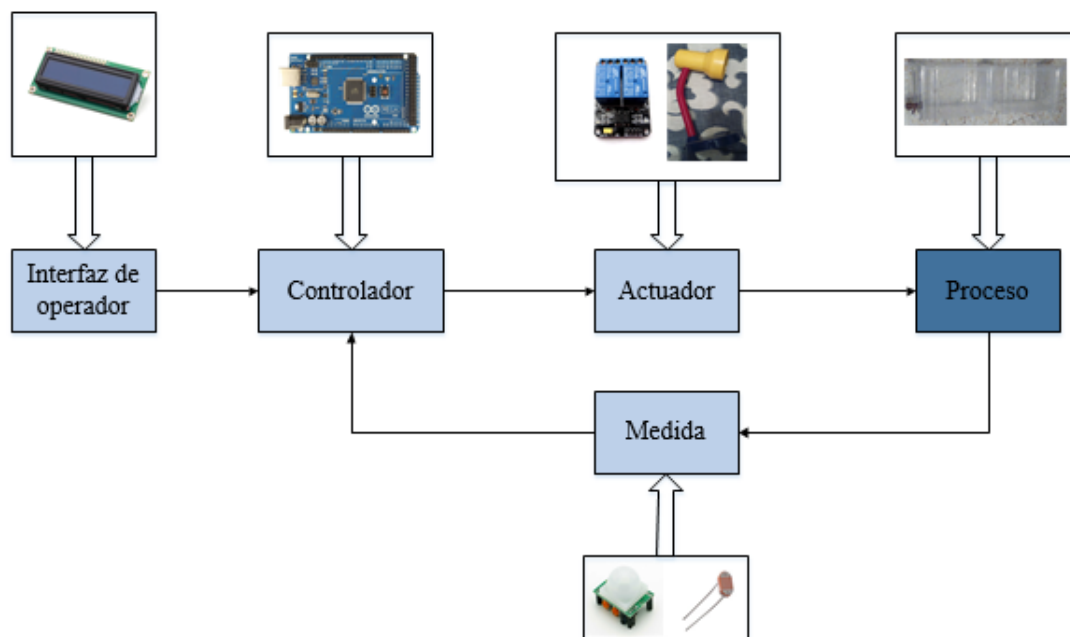


Ilustración 102: Esquema de control del sistema automático de iluminación de la piscina climatizada.

4.5.1. Instalación del sistema de control de iluminación de la piscina climatizada.

En la instalación del sistema de control de iluminación de la piscina climatizada, primero de todo se ha instalado y conectado el flexo que simula la iluminación de la piscina climatizada, para luego después conectar el sensor PIR, la fotocélula LDR y varios botones a la placa Arduino. Todo este sistema se ha unido al anterior, al sistema de control de nivel de agua de la piscina climatizada.

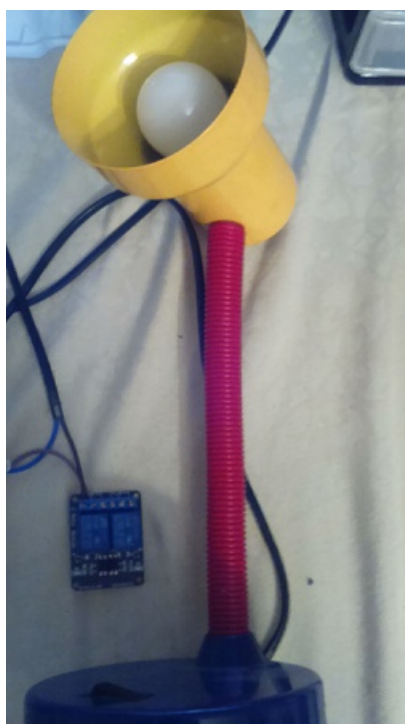


Ilustración 103: Instalación flexo.

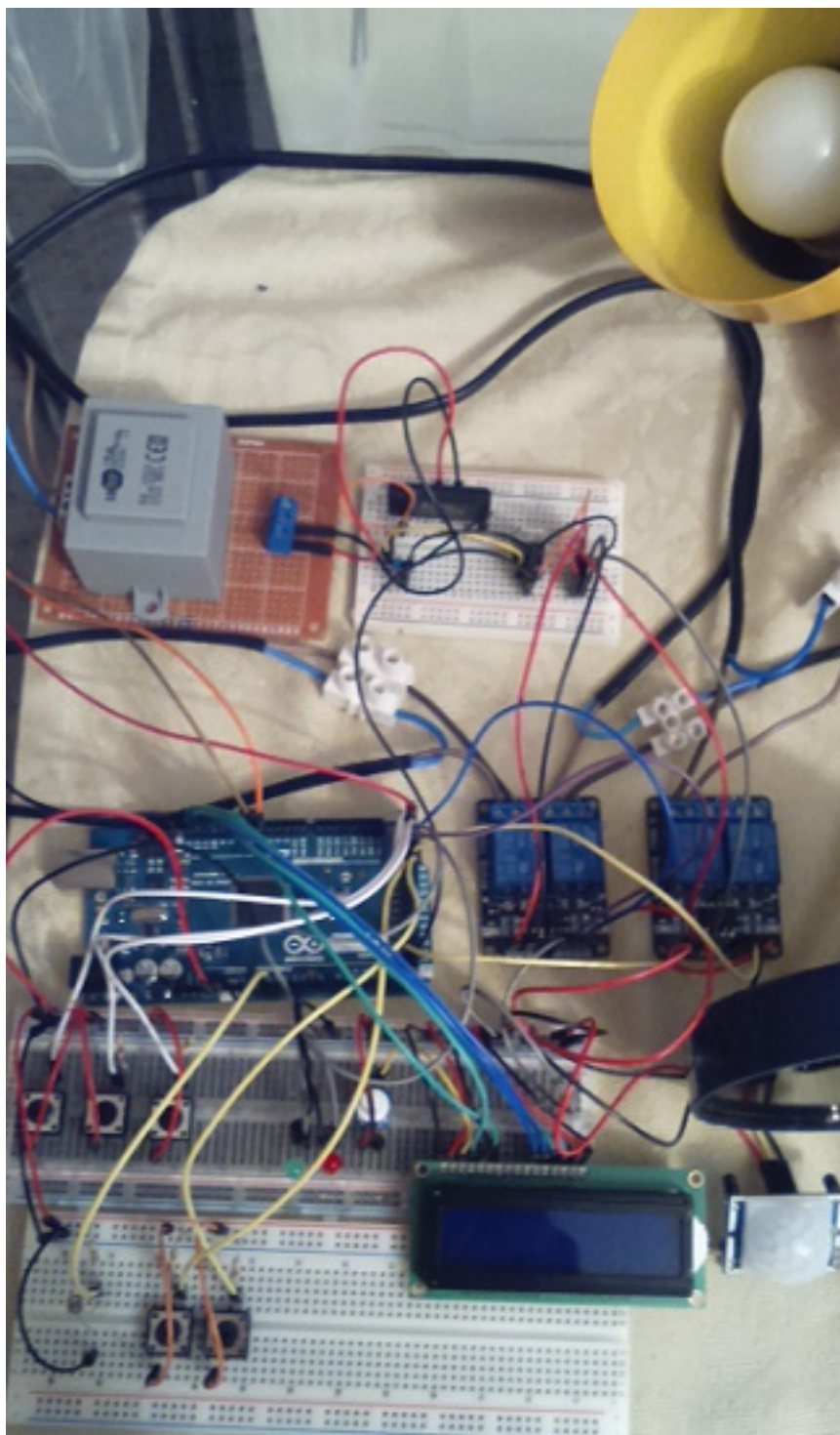


Ilustración 104: Instalación del control de iluminación de la piscina climatizada.

El cableado que aparece en esta imagen se explicará detalladamente en el apartado 4.5.4. Esquema de conexionado del control de iluminación de la piscina climatizada.

4.5.2. Descripción funcional del control de iluminación de la piscina climatizada.

El sistema de control de iluminación funciona de la siguiente manera. Este sistema de control tiene dos modos de funcionamiento. Estos modos son: Modo manual y modo automático.

En el caso del modo manual, la luz se encenderá activando un botón y se apagará de la misma manera.

Y en el caso del modo automático la luz se encenderá si el sensor PIR detecta presencia y la luminosidad del ambiente medida por la fotorresistencia LDR es baja, por debajo de los 30 lux.

El usuario elegirá entre un modo u otro desde el interfaz de operador (pantalla LCD). El modo por defecto es el automático.

A continuación se muestra la pantalla LCD en el menú para elegir el modo de funcionamiento y el diagrama de flujo del control de iluminación de la piscina climatizada.



Ilustración 105: Pantalla LCD en el control de iluminación de la piscina climatizada.

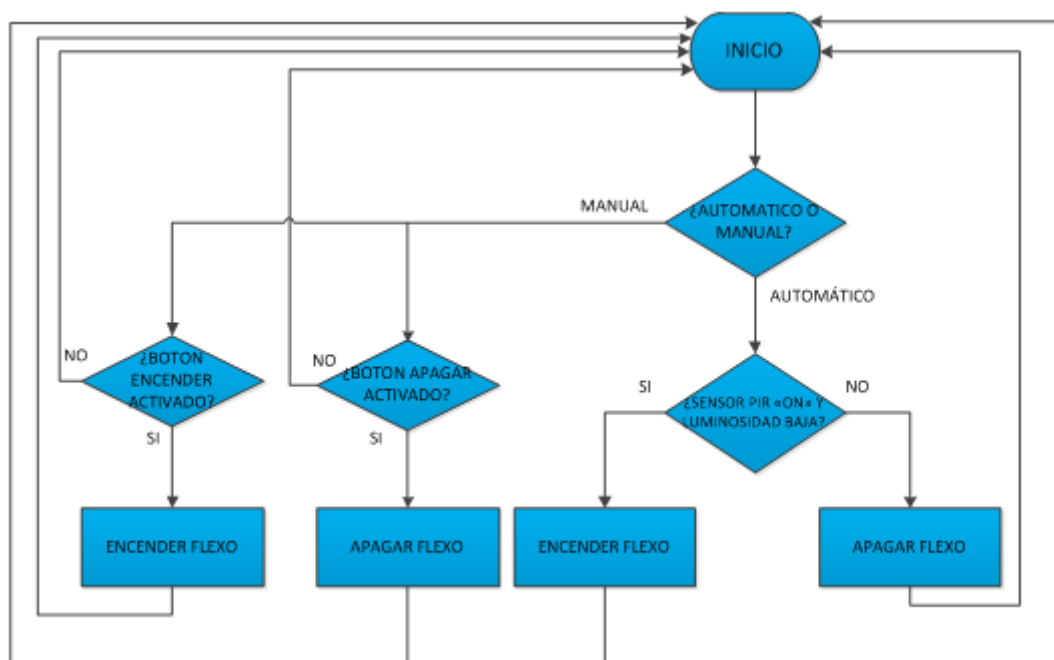


Ilustración 106: Diagrama de flujo del control de iluminación de la piscina climatizada.

4.5.3. Esquema de instrumentación del control de iluminación de la piscina climatizada.

En este esquema se muestran los equipos e instrumentos utilizados para controlar la iluminación de la piscina climatizada.

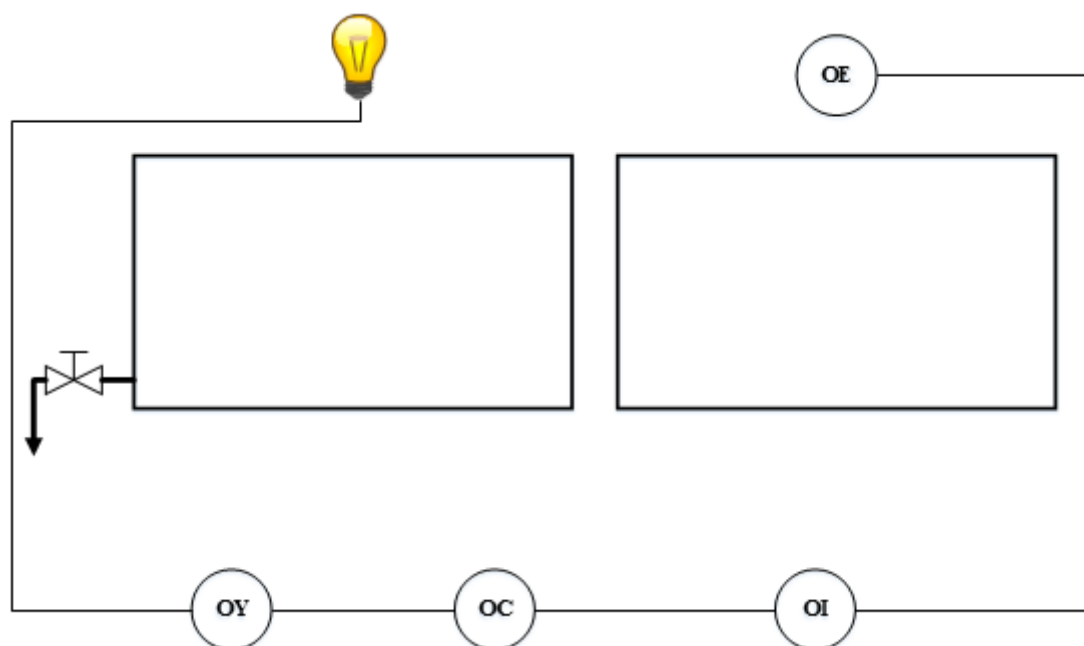


Ilustración 107: Esquema de instrumentación control de iluminación de la piscina climatizada.

Donde:

OE: Sensores de iluminación (Sensor PIR y fotorresistencia LDR), para detectar la presencia de gente y medir la luminosidad del ambiente.

OI: Indicador de iluminación (Pantalla LCD), para cambiar el modo de control Manual/Automático.

OC: Controlador de iluminación (Placa Arduino Mega2560), para controlar la iluminación de la piscina climatizada.

OY: Relé de iluminación (Relé Arduino), para activar el flexo cuando el controlador de iluminación (Placa Arduino Mega2560) lo ordene.

4.5.4. Esquema de conexionado del control de iluminación de la piscina climatizada.

En este esquema se muestran las diferentes conexiones eléctricas que hay que realizar en el control de iluminación de la piscina climatizada.

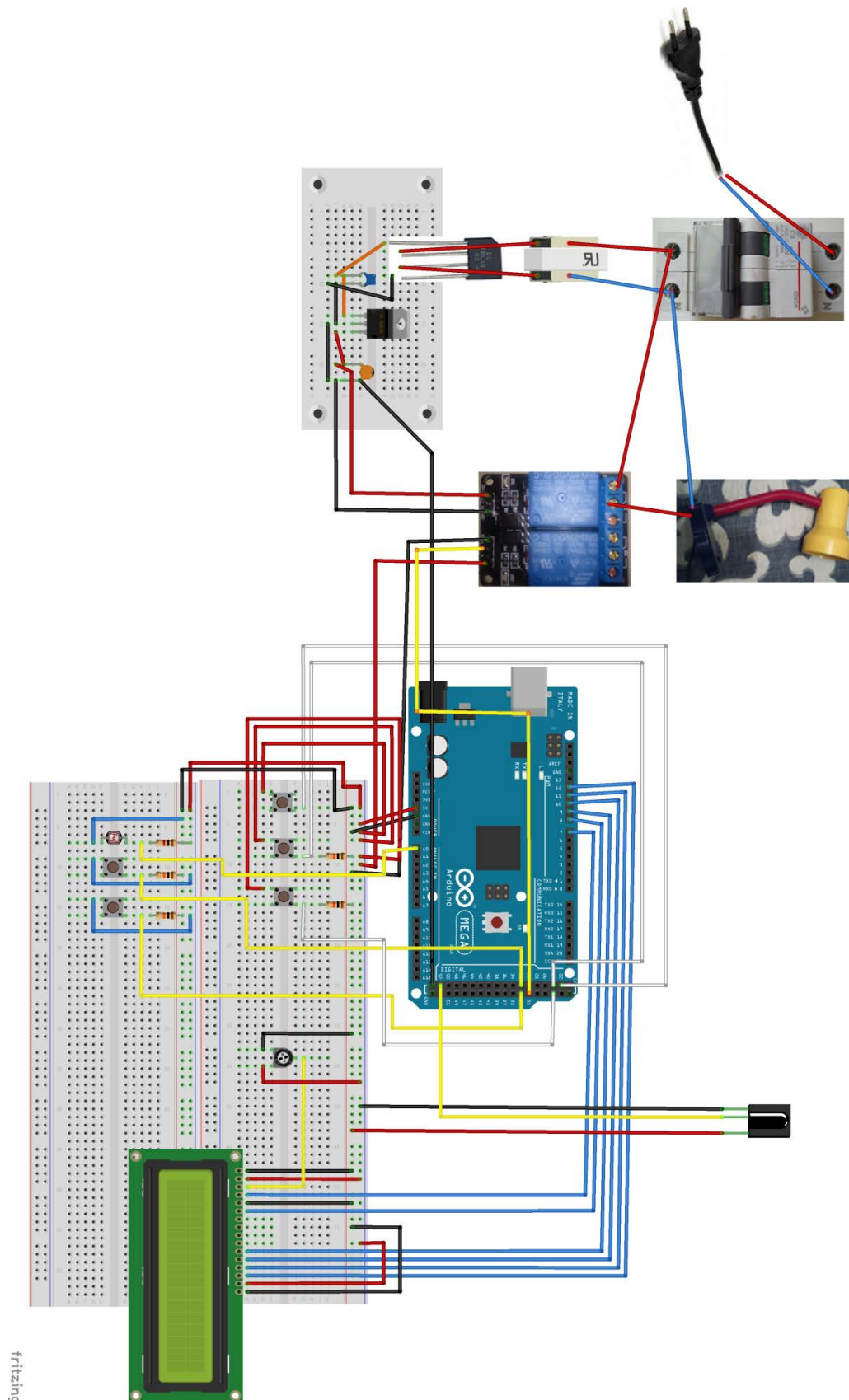


Ilustración 108: Esquema de conexionado del control de iluminación de la piscina climatizada.

A continuación se explicará con detalle el esquema de conexionado del control de iluminación de la piscina climatizada.

El orden que se seguirá para explicar el esquema de conexionado del control de iluminación de la piscina climatizada será el mismo que el que se utilizó en el control de nivel, que es:

1. Actuación: En esta parte se hablará del conexionado del flexo y del relé.
2. Medida: En esta parte se hablará del conexionado del sensor PIR y de la fotorresistencia LDR.
3. Control: En esta parte se hablará de la placa Arduino y de los dispositivos que ofrecen información del control de iluminación de la piscina climatizada y permiten dar órdenes al sistema automático, como son, la pantalla LCD y varios botones.

En la parte de actuación, el relé será conectado exactamente igual que los relés del control de nivel de agua de la piscina climatizada, exceptuando que el pin “IN1” del relé irá al pin “31”. En cuanto al conexionado del flexo se ha conectado también normalmente abierto al igual que las bombas de agua.

En la parte de medida, el sensor PIR tiene tres pines, dos de alimentación que son “Vcc” y “GND” y otro de salida de señal “Signal”. El pin “Vcc” va al “Vcc” de la parte de alimentación de la placa Arduino, el “GND” al “GND” de la parte de alimentación de la placa Arduino y el pin “Signal” al pin “52”. En cuanto a la fotorresistencia LDR, esta ha sido conectada a un circuito de acondicionamiento como el que se muestra en la parte derecha de la ilustración 71 del apartado 3.8.3.. La salida de este circuito de acondicionamiento se ha conectado al pin analógico “A0”.

Y por último la parte de control, que es igual que la parte de control del nivel de agua excepto por dos botones más que se han añadido para encender y apagar el flexo de manera manual y que irán conectados a los pines “32” y “33” respectivamente.

4.5.5. Programación en Arduino del control de iluminación de la piscina climatizada.

En este apartado se verá el código que hace todas las funciones del control de iluminación de la piscina climatizada anteriormente dichas en la descripción funcional.

Cabe destacar en este apartado como se mide la luminosidad del ambiente. Esto se hace a través de una fotorresistencia que varía su valor a medida que cambia la intensidad de la luz en el ambiente. Este valor se recoge a través de una entrada analógica de la placa Arduino y se muestra en el monitor serial, sabiendo de esta manera que valores toma la fotorresistencia cuando la luminosidad es alta o baja y permitiéndonos definir el comportamiento del control de iluminación mediante condiciones en la programación.

```
#include <LiquidCrystal.h>

LiquidCrystal lcd(7, 8, 9, 10, 11, 12);

int sensorPIR=52;
int flexo=31;
int sensorLDR=0;
int valorLDR=0;
int mode=22;
int numeroPulsaciones=0;
int up=24;
int down=25;
int encenderLuz=32;
int apagarLuz=33;
String opcionIluminacion="A";

void setup(){
  lcd.begin(16,2);
  pinMode(sensorPIR, INPUT);
  pinMode(flexo, OUTPUT);
  pinMode(mode, INPUT);
  pinMode(up, INPUT);
  pinMode(down, INPUT);
  pinMode(encenderLuz, INPUT);
  pinMode(apagarLuz, INPUT);
  Serial.begin(9600);
}

void loop(){
  valorLDR=analogRead(sensorLDR);
  Serial.print("valorLDR: ");
  Serial.println(valorLDR);

  if(digitalRead(mode)==HIGH){

    delay(200);
    numeroPulsaciones=numeroPulsaciones+1;
    lcd.clear();

  }

  if(numeroPulsaciones==2){
    numeroPulsaciones=0;
  }

  switch(numeroPulsaciones){

    case 0:

      lcd.setCursor(3,0);
      lcd.write("Iluminacion");
      lcd.setCursor(0,1);
      lcd.write("*****");

      break;

    case 1:
```

```

        lcd.setCursor(0,0);
        lcd.write("Auto o Manual: ");
        lcd.setCursor(14,0);
        lcd.print(opcionIluminacion);

        if(digitalRead(up)==HIGH){
            opcionIluminacion="A";
        }

        else if(digitalRead(down)==HIGH){
            opcionIluminacion="M";
        }

        break;
    }

    if(opcionIluminacion.equals("A")){

        if(digitalRead(sensorPIR)==HIGH && valorLDR>900){
            digitalWrite(flexo,HIGH);
        }

        if(digitalRead(sensorPIR)==LOW || valorLDR<=900){
            digitalWrite(flexo,LOW);
        }

    }

    if(opcionIluminacion.equals("M")){

        if(digitalRead(encenderLuz)==HIGH){
            digitalWrite(flexo,HIGH);
        }

        else if(digitalRead(apagarLuz)==HIGH){
            digitalWrite(flexo,LOW);
        }

    }

}

```

4.5.6. Problemáticas encontradas en el control de la iluminación de la piscina climatizada.

En el control de iluminación de la piscina climatizada puede que ocurra que el sensor PIR no detecte a la distancia idónea y que no se mantenga activado todo el tiempo que se quiera.

4.5.7. Soluciones a las problemáticas encontradas en el control de iluminación de la piscina climatizada.

Para solucionar el problema citado anteriormente en el último apartado, hay que calibrar al sensor PIR a través de dos tornillos que tiene en uno de sus lados. A continuación se muestra una imagen del sensor PIR donde se pueden ver esos tornillos.



Ilustración 109: Sensor PIR Arduino II.

4.6. Control de la depuradora de la piscina climatizada.

El sistema de control de la depuradora de la piscina climatizada está compuesto por una pantalla LCD y varios botones como interfaz de operador, una placa Arduino como controlador del sistema automático, un módulo reloj como dispositivo de medida y dos bombas de agua y dos relés como actuadores del sistema automático. A continuación se muestra el esquema de control del sistema automático de la depuradora de la piscina climatizada.

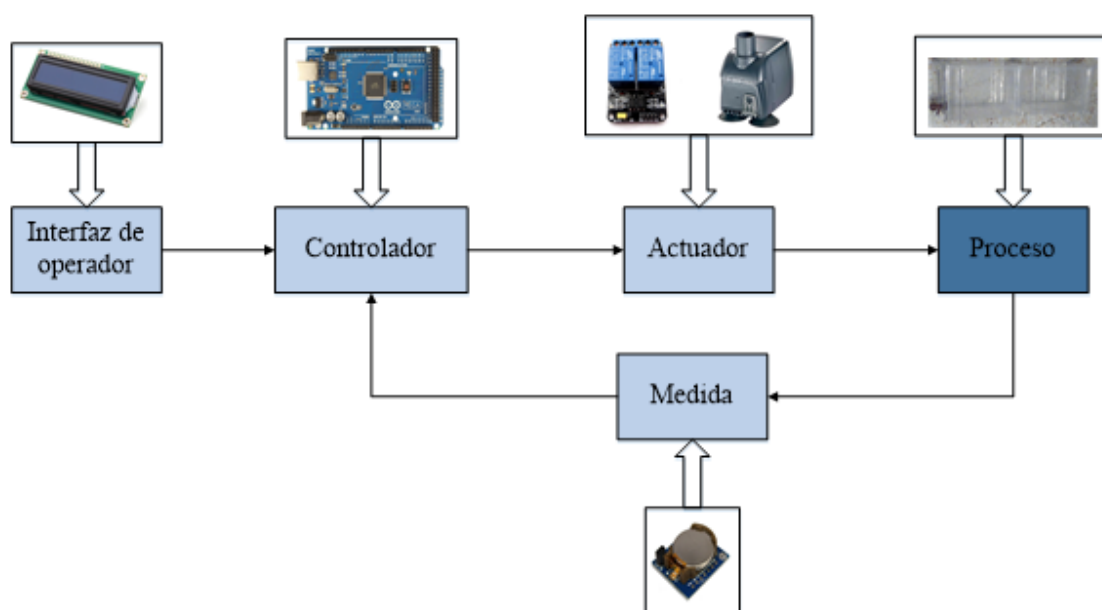


Ilustración 110: Esquema de control del sistema automático de la depuradora de la piscina climatizada.

4.6.1. Instalación del sistema de control de la depuradora de la piscina climatizada.

Lo que se ha hecho en la instalación del sistema de control de la depuradora de la piscina climatizada es instalar el módulo reloj DS1307 y un led de color azul al sistema de control de nivel de agua. Antes de esto hay que soldar unos pines al módulo reloj DS1307, para luego después conectarlo a la placa Arduino. Como se ve en las siguientes ilustraciones.

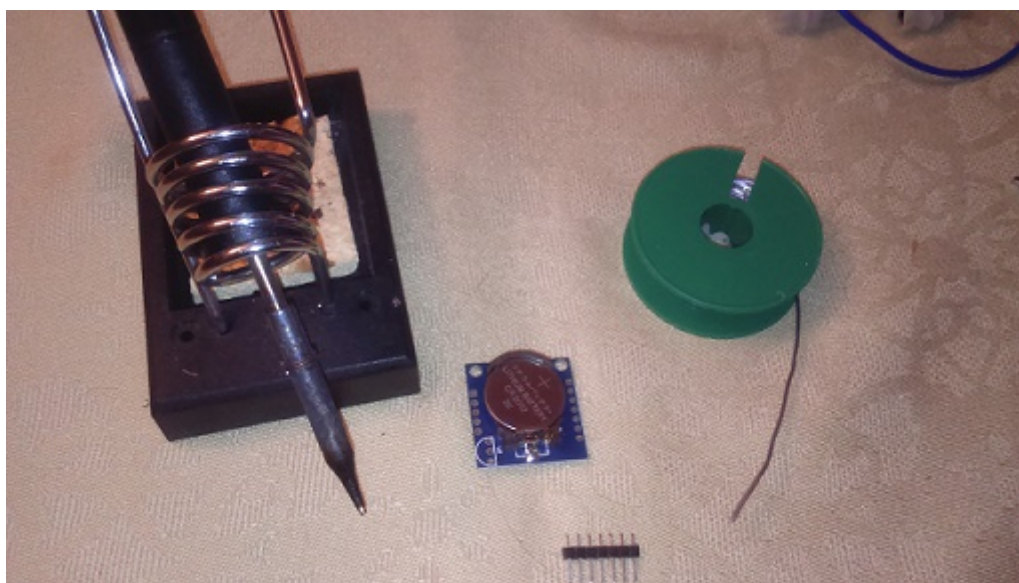


Ilustración 111: Materiales y herramientas para soldar pines en el módulo reloj DS1307.

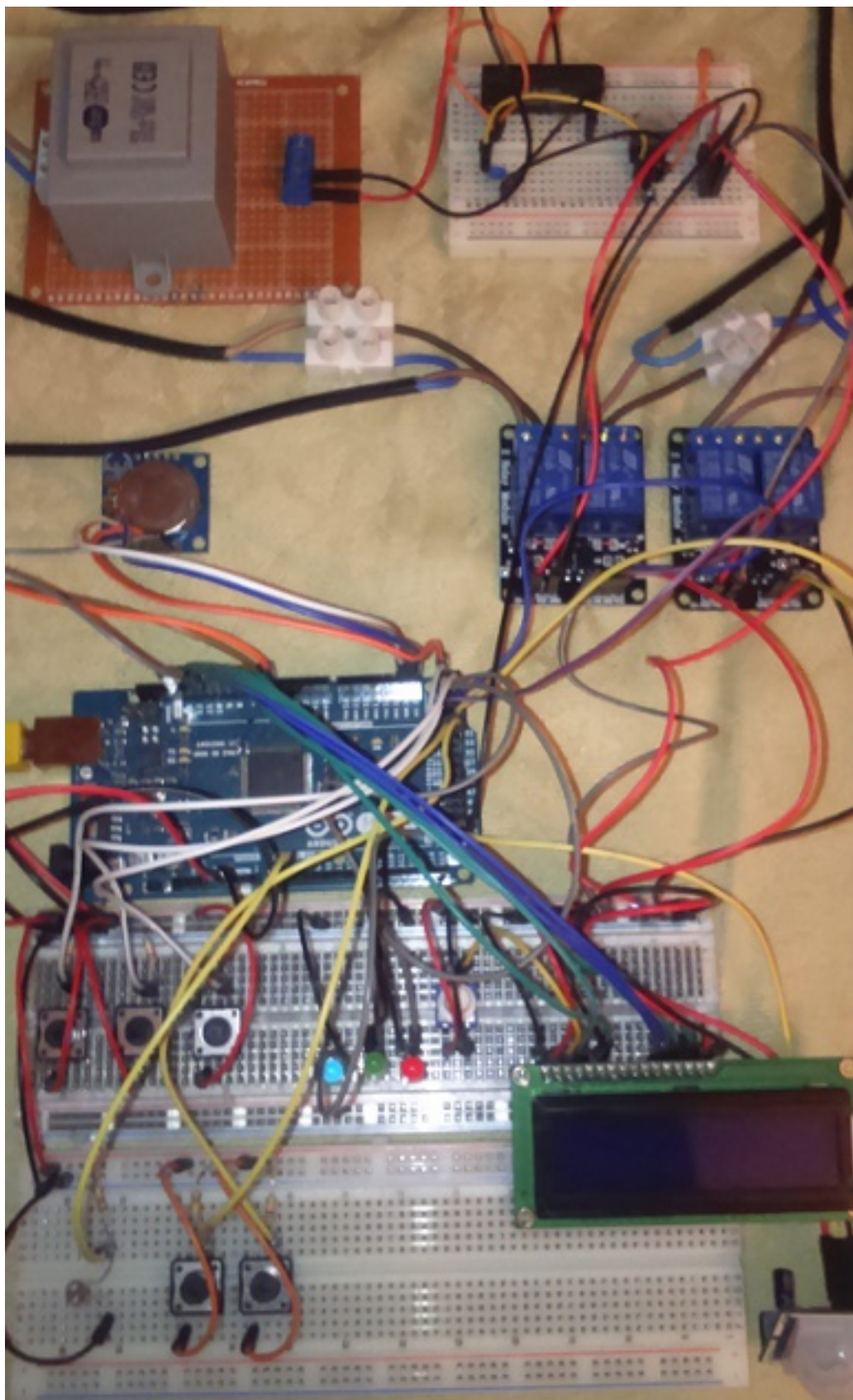


Ilustración 112: Instalación del control de la depuradora de la piscina climatizada.

El cableado que aparece en esta imagen se explicará detalladamente en el apartado 4.6.4. Esquema de conexionado del control de la depuradora de la piscina climatizada.

4.6.2. Descripción funcional del control de la depuradora de la piscina climatizada.

El funcionamiento del sistema de control de la depuradora de la piscina climatizada es el siguiente. Cuando la hora diaria coincida con la hora de funcionamiento de la depuradora, un led azul y las dos bombas de agua que simulan a una depuradora, se activarán durante un tiempo establecido. Tanto la hora de funcionamiento de la depuradora como el tiempo de funcionamiento, podrán ser cambiados desde el interfaz de operador o pantalla LCD.



Ilustración 113: Pantalla LCD de la depuradora de la piscina climatizada.

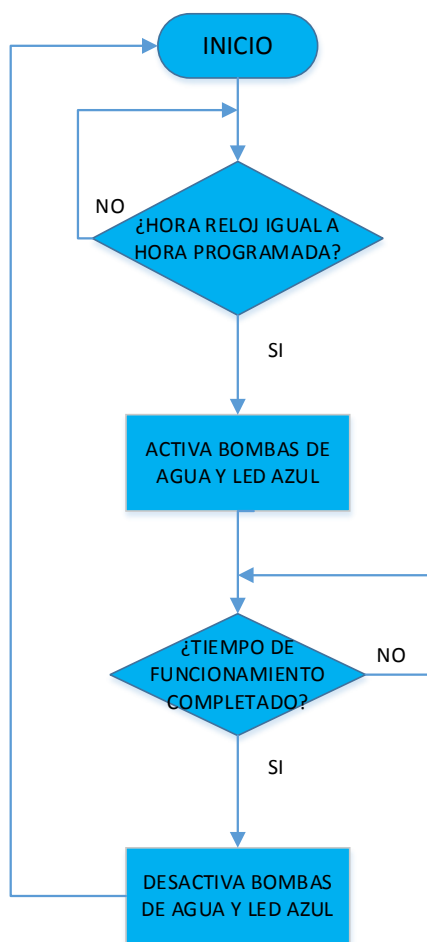


Ilustración 114: Diagrama de flujo del control de la depuradora de la piscina climatizada.

4.6.3. Esquema de instrumentación del control de la depuradora de la piscina climatizada.

En este esquema se muestran los equipos e instrumentos utilizados para controlar la depuradora de la piscina climatizada y el flujo de agua por las tuberías.

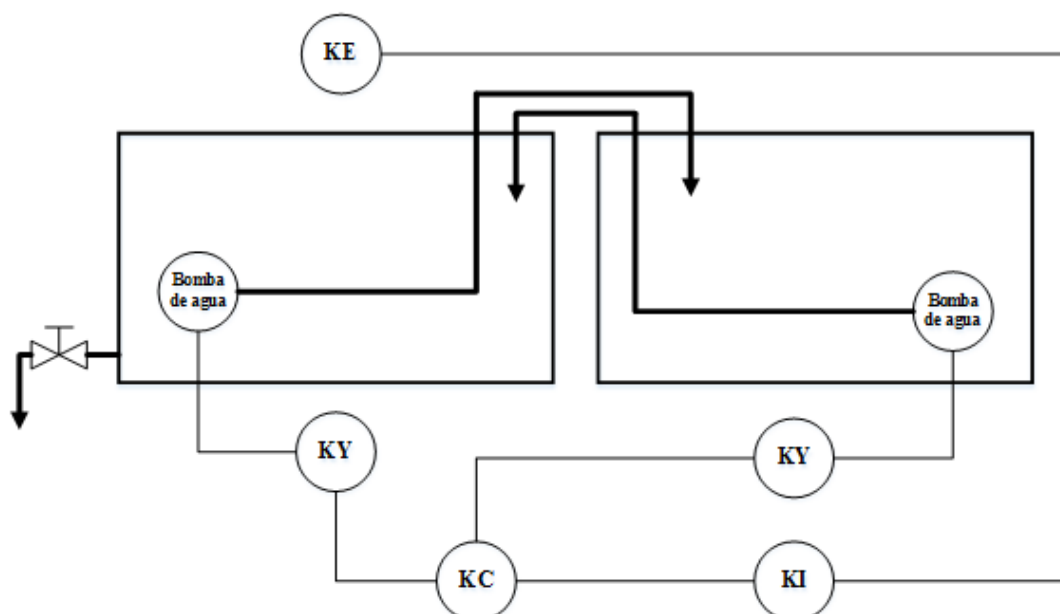


Ilustración 115: Esquema de instrumentación del control de la depuradora de la piscina climatizada.

Donde:

KE: Sensor de tiempo (Modulo Reloj Tiny RTC I2C DS1307), para medir el tiempo.

KI: Indicador del tiempo (Pantalla LCD), para mostrar la hora en la que se activara la depuradora.

KC: Controlador del tiempo (Placa Arduino Mega2560), para controlar la depuradora de la piscina climatizada.

KY: Relé del tiempo (Relés Arduino), para activar la depuradora cuando el controlador del tiempo (Placa Arduino Mega2560) lo ordene.

4.6.4. Esquema de conexionado del control de la depuradora de la piscina climatizada.

En este esquema se muestran las diferentes conexiones eléctricas que hay que realizar en el control de la depuradora de la piscina climatizada.



A continuación se explicará con detalle el esquema de conexionado del control de la depuradora de la piscina climatizada.

El orden que se seguirá para explicar el esquema de conexionado del control de la depuradora de la piscina climatizada será el mismo que se utilizó para describir los esquemas de conexionado de los demás de controles, que es:

1. Actuación: En esta parte se hablara del conexionado de las bombas de agua y de los relés.
2. Medida: En esta parte se hablara del conexionado del módulo reloj DS1307.
3. Control: En esta parte se hablara de la placa Arduino y de los dispositivos que ofrecen información del control de la depuradora de la piscina climatizada y permiten dar órdenes al sistema automático, como son, la pantalla LCD, varios botones y un led.

Las conexiones de la parte de actuación, son las mismas conexiones que se hicieron y se describieron en el control de nivel de agua de la piscina climatizada.

En la parte de medida, el módulo reloj DS1307 tiene 7 pines, pero solo se utilizaran 4 de ellos, dos de alimentación que son “Vcc” y “GND”, y dos de envío de información que son “SDA” y “SCL”. El pin “Vcc” va al pin de 5 Vdc de la parte de PWM de la placa Arduino y “GND” al “GND” de la parte de PWM de la placa Arduino. En cuanto a los pines de envío de datos, el pin “SCL” va al “SCL” de la placa Arduino y el pin “SDA” al pin “SDA” de la placa Arduino.

Y por último la parte de control, que es igual que la parte de control del nivel de agua excepto por un led azul que se ha añadido para indicar cuando se encuentran en funcionamiento las dos bombas de agua que simulan a una depuradora y la eliminación del led verde y el led rojo.

4.6.5. Programación en Arduino del control de la depuradora de la piscina climatizada.

Antes de programar el control de la depuradora de la piscina climatizada, se debe instalar la librería del módulo reloj Tiny RTC I2C DS1307 y establecer la fecha y hora del mismo. Para ello se debe hacer click en Sketch>Import library>Add library en el menú del programa Arduino, para luego seleccionar al archivo que contiene la librería del módulo reloj, llamada RTCLib.

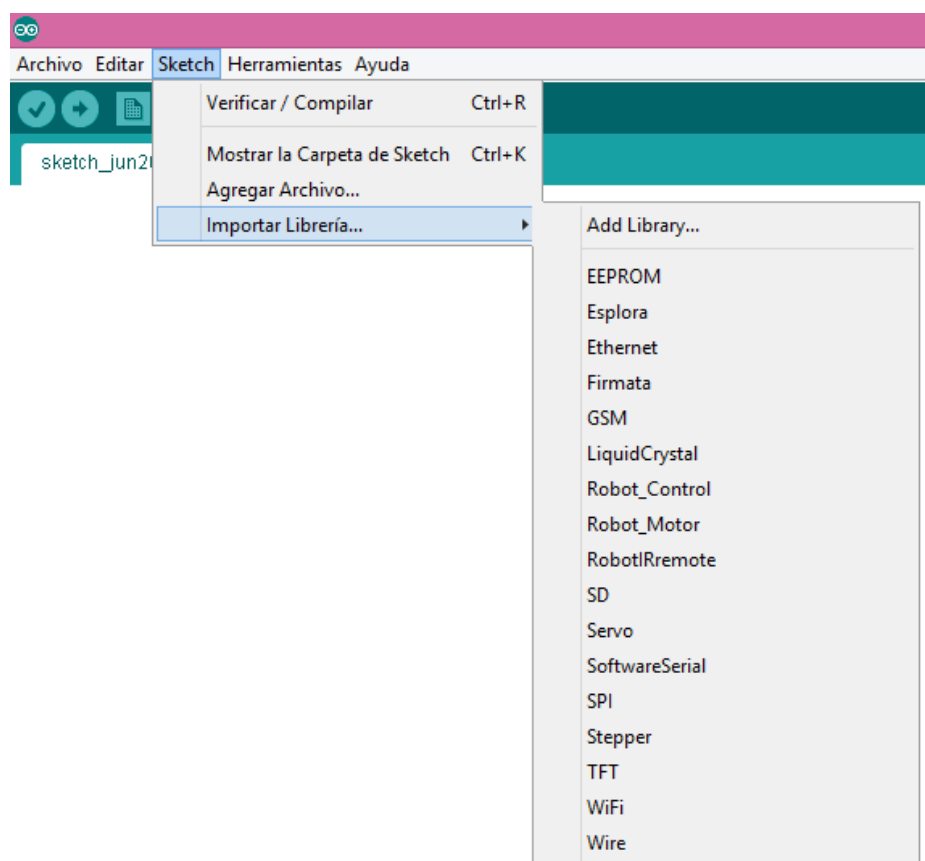


Ilustración 117: Pantalla instalación librería.

Para establecer la fecha y hora del reloj DS1307, se debe compilar y cargar un código. Este código es el siguiente.

```
#include <Wire.h>
#include "RTClib.h"
RTC_DS1307 RTC;

void setup () {

    Wire.begin(); // Inicia el puerto I2C
    RTC.begin(); // Inicia la comunicación con el RTC
    RTC.adjust(DateTime(__DATE__, __TIME__)); // fecha y hora
    Serial.begin(9600);

}
void loop () {
}
```

La función `RTC.adjust (DateTime(__DATE__, __TIME__));` establecerá la fecha y hora en el reloj. Esta fecha y hora, será la fecha y hora en la que se creó el archivo .hex, generado al compilar el Sketch.

Una vez realizado todo lo citado anteriormente en este apartado, ya se podrá utilizar el módulo reloj y programar el control de la depuradora de la piscina climatizada. A continuación se muestra el código creado para controlar la depuradora de la piscina climatizada.

```
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal.h>
#include "RTCLib.h"

LiquidCrystal lcd(7, 8, 9 , 10, 11, 12);

RTC_DS1307 RTC;

DateTime future=0;
int duracionDepuradora=10;
int segundos=00;
int minutos=17;
int hora=01;
int mode=22;
int up=24;
int down=25;
int numeroPulsaciones=0;
int bombaLlenado=29;
int bombaVacio=28;
int ledDepuradora=53;

void setup (){
  Wire.begin();
  RTC.begin();
  pinMode(mode, INPUT);
  pinMode(up, INPUT);
  pinMode(down, INPUT);
  pinMode(bombaLlenado, OUTPUT);
  pinMode(bombaVacio, OUTPUT);
  pinMode(ledDepuradora, INPUT);
  lcd.begin(16,2);
}

void loop(){
  DateTime now = RTC.now(); // Obtiene la fecha y hora del RTC

  if(digitalRead(mode)==HIGH){

    delay(200);
    numeroPulsaciones=numeroPulsaciones+1;
    lcd.clear();

  }

  if(numeroPulsaciones==3){

    numeroPulsaciones=0;

  }

  switch(numeroPulsaciones){

    case 0:
```

```

    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.setCursor(3,0);
    lcd.write("Depuradora");
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.write("*****");
    break;

case 1:

    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.write("Hora Depuradora");
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.setCursor(4,1);
    lcd.print(hora);
    lcd.setCursor(6,1);
    lcd.write(":");
    lcd.setCursor(7,1);
    lcd.print(minutos);
    lcd.setCursor(9,1);
    lcd.print(":");
    lcd.setCursor(10,1);
    lcd.print(segundos);

    if(digitalRead(up)==HIGH){

        hora=hora+1;
    }

    if(digitalRead(down)==HIGH){

        minutos=minutos+1;

    }

    break;

case 2:

    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.write("Duracion:");
    lcd.setCursor(10,0);
    lcd.print(duracionDepuradora);

    break;

}

if(hora==now.hour() && minutos==now.minute() &&
segundos==now.second()){
    digitalWrite(bombaLlenado,HIGH);
    digitalWrite(bombaVacio,HIGH);
    digitalWrite(ledDepuradora,HIGH);
    future = now.unixtime() + duracionDepuradora;
}

if (now.unixtime() >= future.unixtime() &&
digitalRead(ledDepuradora)){
    digitalWrite(bombaLlenado,LOW);
    digitalWrite(bombaVacio,LOW);
    digitalWrite(ledDepuradora, LOW);
}

```

```
}  
if(hora==25 || hora==-1){  
    hora=00;  
}  
if(minutos==61){  
    minutos=00;  
}  
delay(1000); // La información se actualiza cada 1 seg.  
}
```

4.6.6. Problemáticas encontradas en el control de la depuradora de la piscina climatizada.

Al hacer ciertas pruebas con el módulo reloj DS1307, siempre se mostraba en la pantalla LCD la fecha 2000/1/1 0:0:0.

4.6.7. Soluciones encontradas en el control de la depuradora de la piscina climatizada.

El problema anteriormente citado en el último apartado, era debido a que no se estableció la fecha y hora antes de empezar a programar utilizando el módulo reloj. Esto se solucionó compilando y cargando el código anteriormente escrito en el apartado 4.6.5.

4.7. Medida de PH del agua de la piscina climatizada.

El sistema de medida de PH del agua de la piscina climatizada está compuesto por una pantalla LCD como interfaz de operador, una placa Arduino como controlador y un sensor de PH como aparato de medida. A continuación se muestra el esquema del sistema de medida de PH del agua de la piscina climatizada.

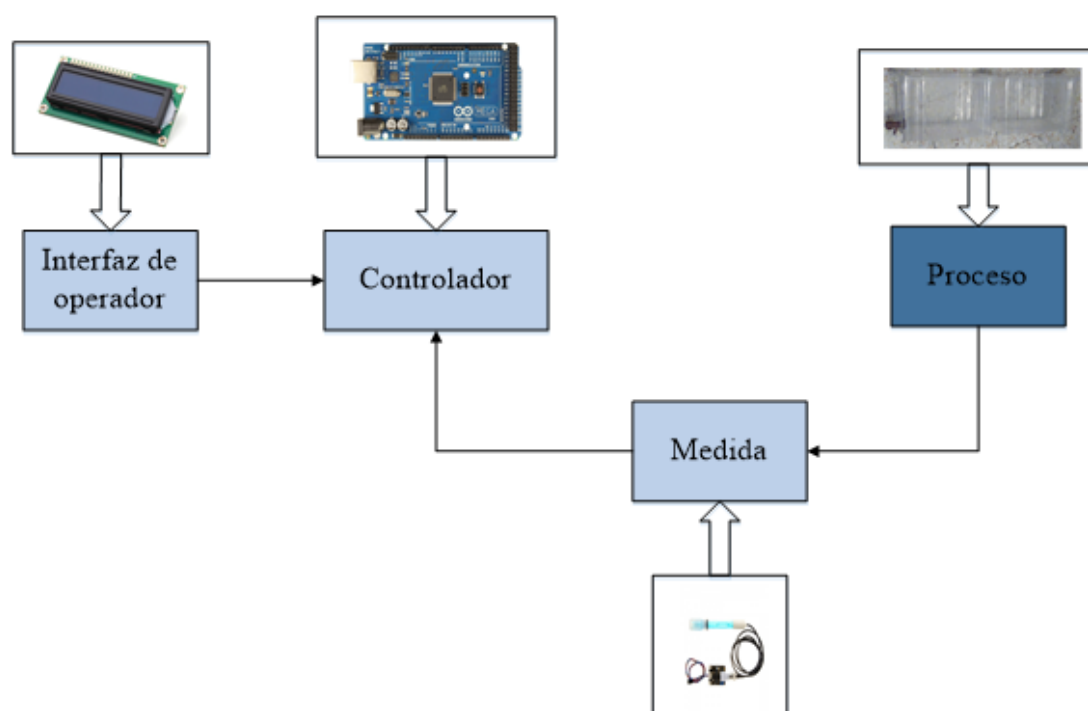


Ilustración 118: Esquema del sistema de medida de PH del agua de la piscina climatizada.

4.7.1. Instalación del sistema de medida de PH del agua de la piscina climatizada.

En la instalación del sistema de medida de PH del agua de la piscina climatizada, se ha instalado el sensor de PH en la cubeta de plástico que simula a la piscina climatizada y se ha conectado a la placa Arduino junto a los anteriores sistemas de control.



Ilustración 119: Instalación del sensor de PH.

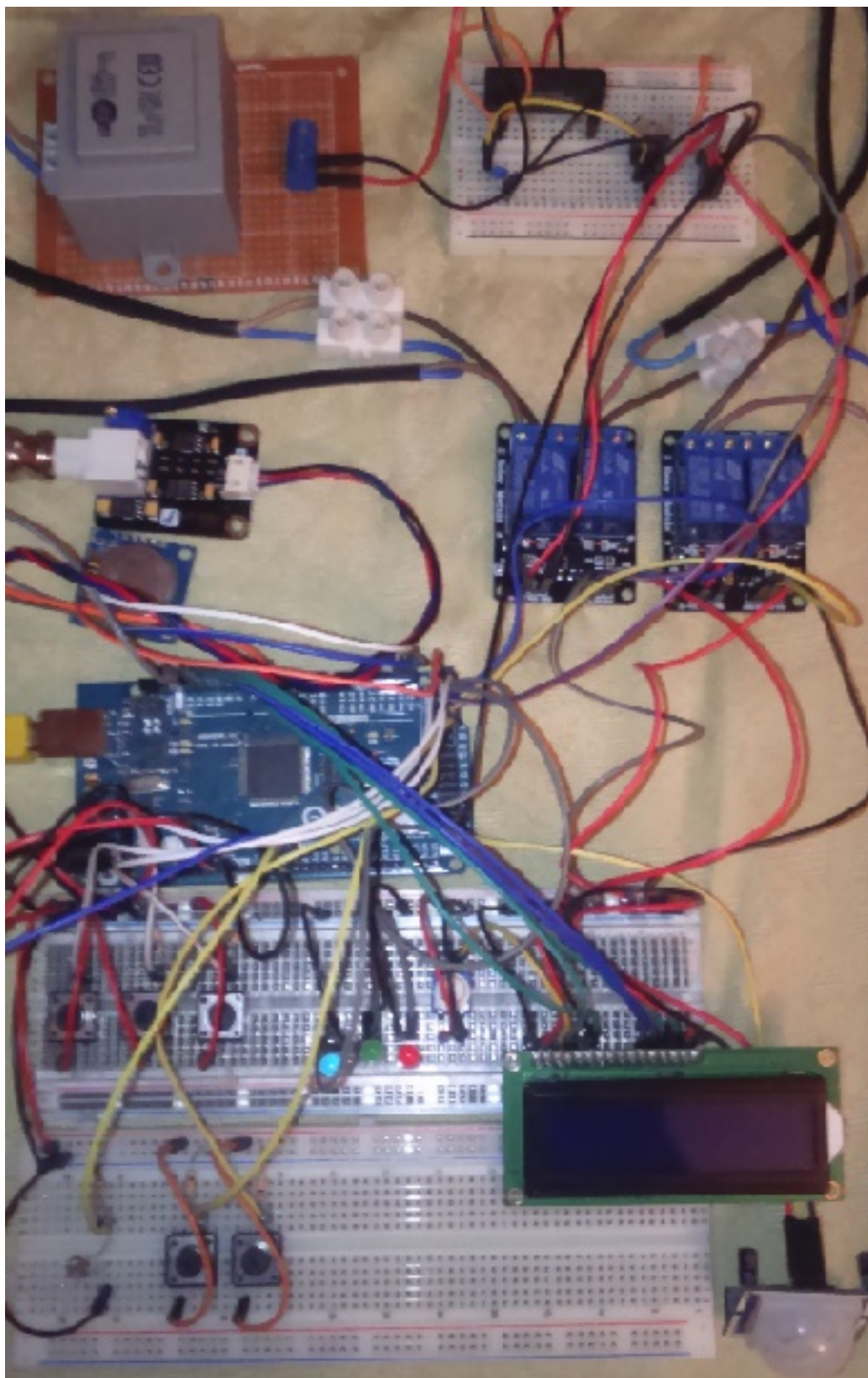


Ilustración 120: Instalación medida de PH del agua de la piscina climatizada.

El cableado que aparece en esta imagen se explicará detalladamente en el apartado 4.7.4. Esquema de conexionado de la medida de PH del agua de la piscina climatizada.

4.7.2. Descripción funcional de la medida de PH del agua de la piscina climatizada.

El funcionamiento del sistema de medida de PH del agua de la piscina climatizada es el siguiente. El sensor de PH mide el PH del agua, estas medidas son recogidas por la placa Arduino y mostradas por la pantalla LCD.



Ilustración 121: Pantalla LCD de la medida de PH del agua de la piscina climatizada.

4.7.3. Esquema de instrumentación de la medida de PH del agua de la piscina climatizada.

En este esquema se muestran los equipos e instrumentos utilizados para medir el PH del agua de la piscina climatizada.

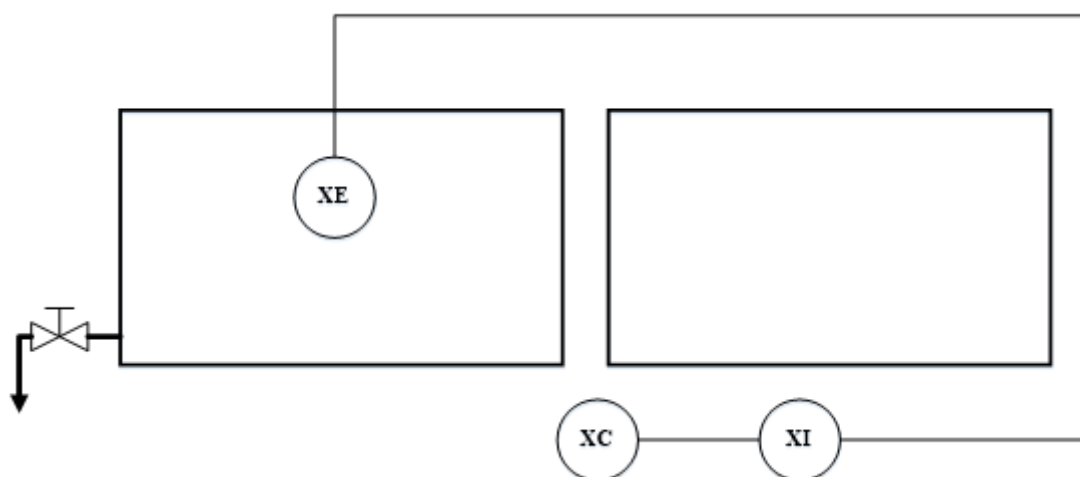


Ilustración 122: Esquema de instrumentación del sistema de medida de PH.

Donde:

XE: Sensor de PH, para medir el PH del agua de la piscina climatizada.

XI: Indicador de PH (Pantalla LCD), para mostrar el PH del agua de la piscina climatizada.

XC: Controlador de PH (Placa Arduino Mega2560), para recoger las medidas de PH del agua de la piscina climatizada.

4.7.4. Esquema de conexionado de la medida de PH del agua de la piscina climatizada.

En este esquema se muestran las diferentes conexiones eléctricas que hay que realizar en la medida de PH del agua de la piscina climatizada.

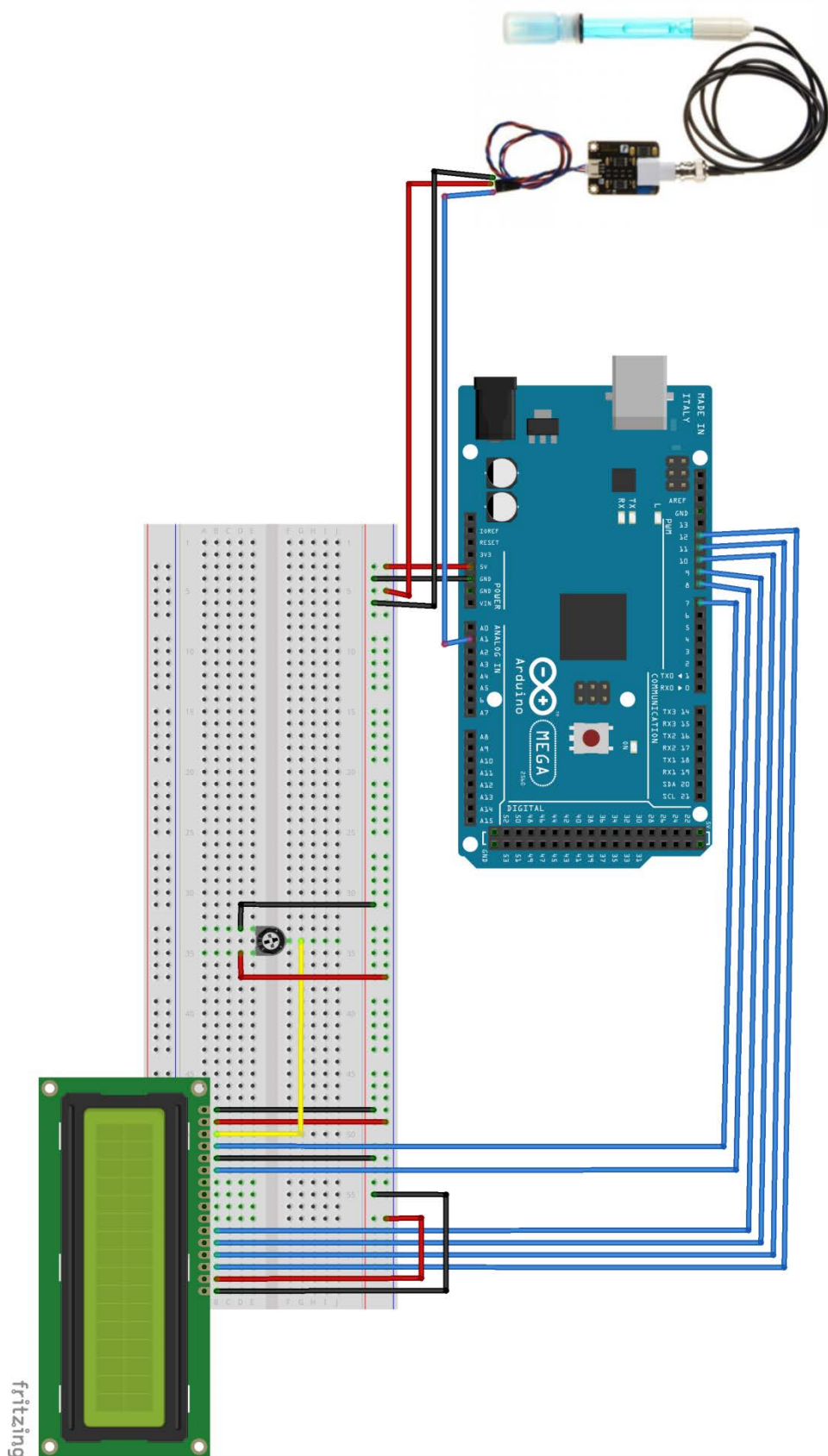


Ilustración 123: Esquema de conexionado de la medida de PH del agua de la piscina climatizada.

Como se ve en el esquema de conexionado de la medida de PH del agua de la piscina climatizada, solo hay que conectar dos elementos a la placa Arduino, que son el sensor de PH y la pantalla LCD. La pantalla LCD se conecta siguiendo la tabla que se mostró en el apartado 4.4.4. En cuanto al sensor de PH, este apartado de medida tiene tres pines, dos de alimentación que son el “Vcc” y “GND” y uno de envío de señal “Signal”. El pin “Vcc” va conectado a los 5 Vdc de la protoboard, el pin “GND” al “GND” de la protoboard y el pin “Signal” a la entrada analógica “A1”.

4.7.5. Programación de la medida de PH del agua de la piscina climatizada.

En este apartado se verá el código que calcula el PH del agua de la piscina climatizada. Este código ha sido proporcionado por el fabricante del sensor, una empresa llamada DFrobot [17].

```
#include <LiquidCrystal.h>

LiquidCrystal lcd(7, 8, 9, 10, 11, 12);

int sensorPin=1;
unsigned long int avgValue; //valor medio PH
float b;
int buf[10],temp;

void setup()
{
}

void loop()
{
    for(int i=0;i<10;i++) //Obtener 10 medidas analogicas
    {
        buf[i]=analogRead(sensorPin);
        delay(10);
    }
    for(int i=0;i<9;i++) //Ordenar de mayor a menor las 10 medidas
    {
        for(int j=i+1;j<10;j++)
        {
            if(buf[i]>buf[j])
            {
                temp=buf[i];
                buf[i]=buf[j];
                buf[j]=temp;
            }
        }
    }
    avgValue=0;

    for(int i=2;i<8;i++) //Coge las medidas analogicas 3,4,5,6,7,8
        avgValue+=buf[i];
    float phValue=(float)avgValue*5.0/1024/6; //media de las seis
medidas analogicas y conversión de la media analogica a milivoltios
    phValue=3.5*phValue; //conversión de milivoltios a PH
```

```

lcd.setCursor(0,0);
lcd.write("PH: ");
lcd.setCursor(4,0);
lcd.print(phValue);
}

```

4.7.6. Problemáticas de la medida de PH del agua de la piscina climatizada.

Con el paso del tiempo el sensor de PH puede empezar a medir de manera errónea.

4.7.7. Soluciones a las problemáticas de la medida de PH del agua de la piscina climatizada.

Para solucionar el problema citado anteriormente hay que limpiar y calibrar el sensor de PH de vez en cuando. Un buen mantenimiento sería limpiar y calibrar el sensor cada mes.

Para calibrar el sensor de PH hay que utilizar un líquido del que sepa con exactitud su PH y mover el tornillo que hay en la placa electrónica del sensor hasta conseguir esa medida de PH [17]. A continuación se muestra una imagen de la placa electrónica del sensor de PH donde se puede ver ese tornillo.



Ilustración 124: Placa electrónica del sensor de PH.

4.8. Control de temperatura del agua de la piscina climatizada.

El sistema de control de temperatura del agua de la piscina climatizada está compuesto por una pantalla LCD, un zumbador y varios botones como interfaz de operador, una placa Arduino como controlador del sistema automático, un sensor de temperatura DS18B20 como dispositivo de medida y una resistencia calefactora y un regulador de potencia como actuadores del sistema automático. A continuación se muestra el esquema de control del sistema automático de temperatura del agua de la piscina climatizada.

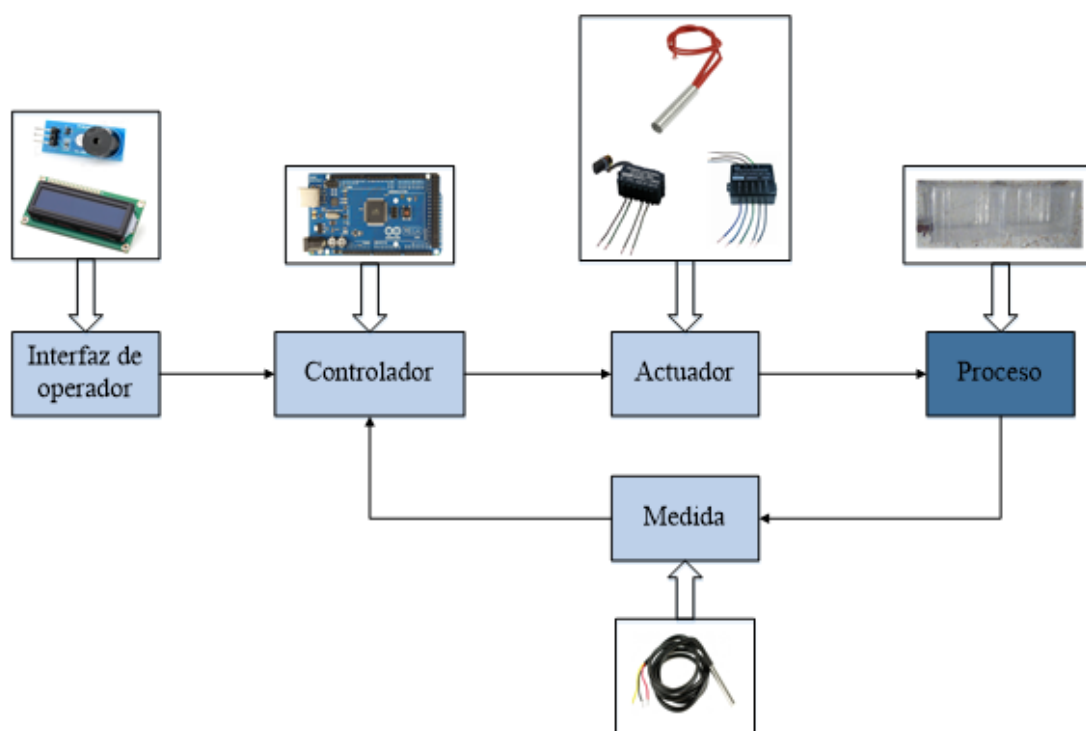


Ilustración 125: Esquema de control del sistema automático de temperatura del agua.

4.8.1. Instalación del sistema de control de temperatura del agua de la piscina climatizada.

El sistema de control de temperatura del agua de la piscina climatizada, es el sistema más laborioso de instalar debido a que cuenta con más dispositivos que los sistemas anteriores. Esto hace que haya que realizar varias conexiones e instalaciones de elementos. A continuación se describen las instalaciones que se han hecho en el control de temperatura del agua de la piscina climatizada.

Primero de todo se ha cableado el regulador de potencia KEMO para que pudiera ser controlado por la placa Arduino. Esto se ha conseguido siguiendo el esquema de

conexionado de la documentación técnica de este dispositivo [22]. A continuación se muestra el esquema de conexionado del regulador de potencia KEMO y el montaje del mismo.

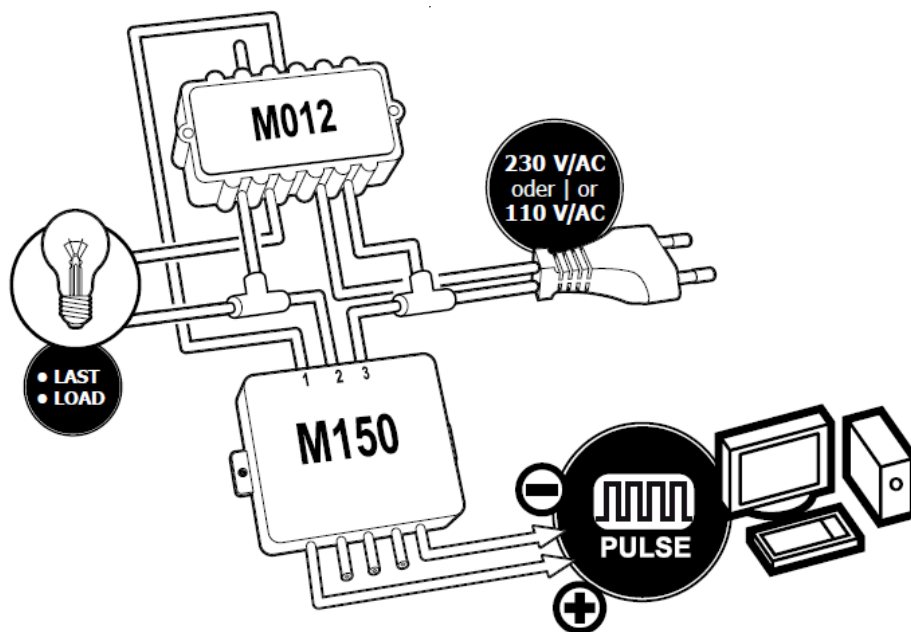


Ilustración 126: Esquema de conexionado del regulador de potencia KEMO.



Ilustración 127: Montaje del regulador de potencia Kemo.

Seguidamente al cableado del regulador de potencia KEMO, se han instalado en la cubeta de plástico que simula a la piscina climatizada, el sensor de temperatura DS18B20 y la resistencia calefactora.

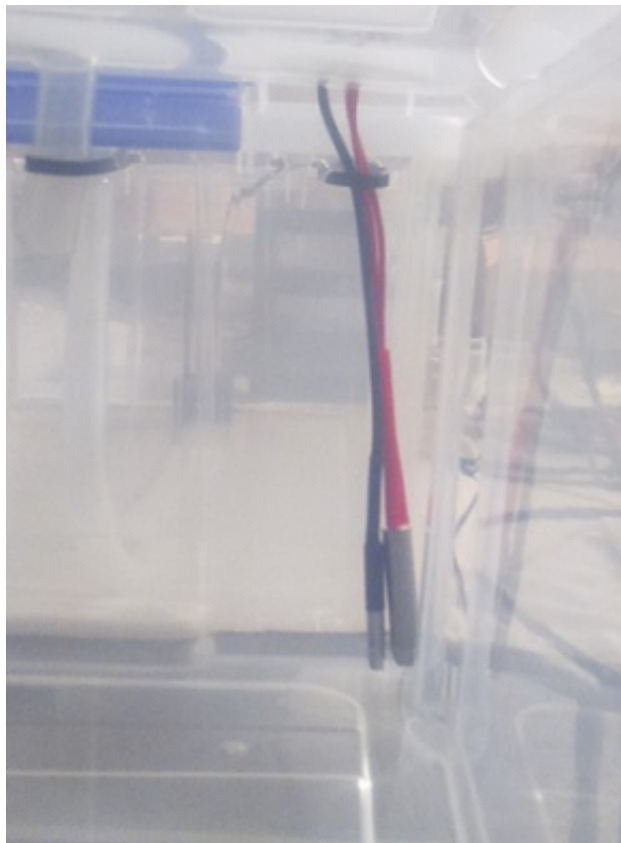


Ilustración 128: Instalación del sensor de temperatura DS18B20 y de la resistencia calefactora.

Y por último se ha conectado el sistema de control de temperatura del agua de la piscina climatizada a la placa Arduino, uniéndolo a los anteriores controles, como se ve en siguiente ilustración.

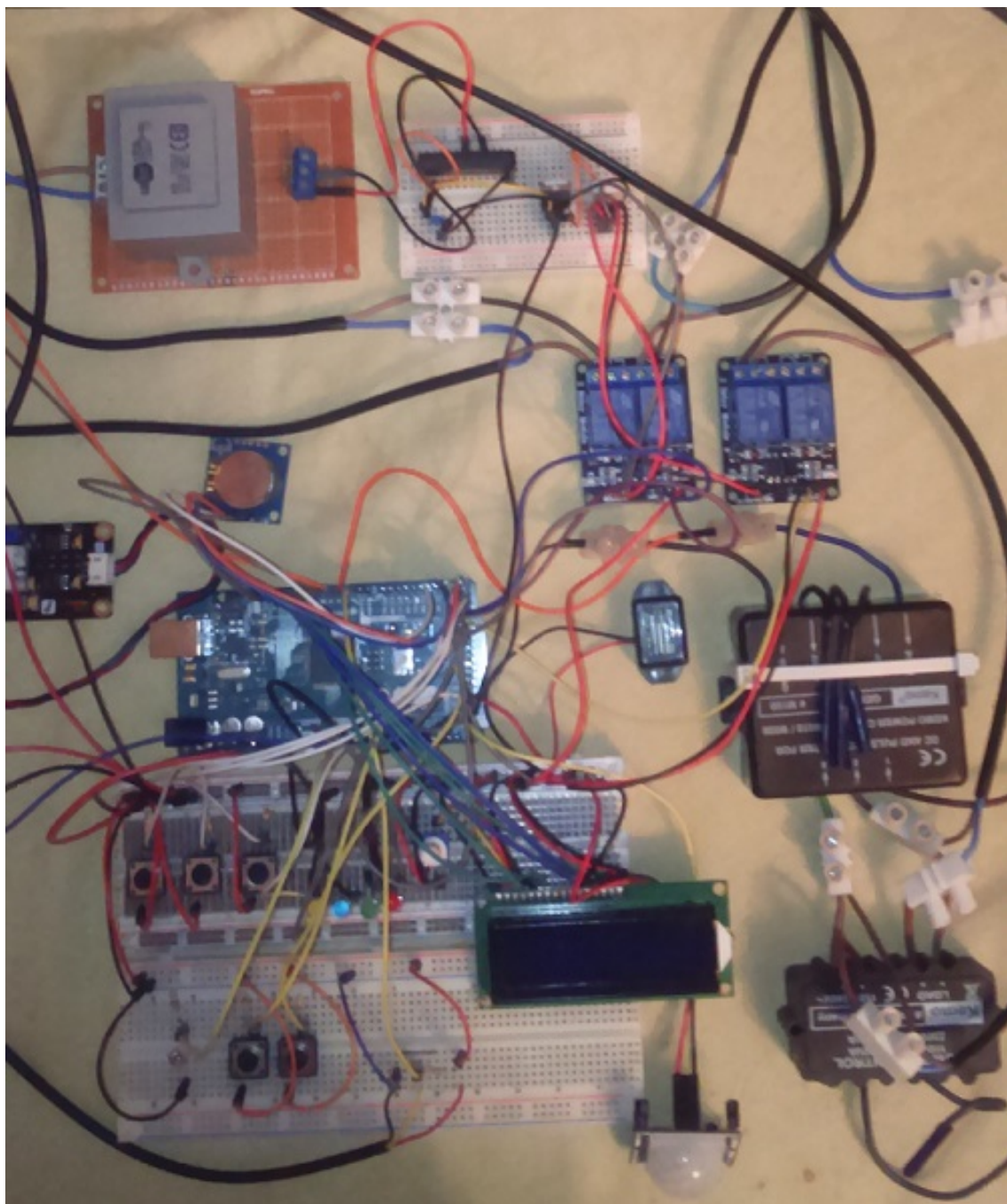


Ilustración 129: Instalación del sistema de control de temperatura del agua de la piscina climatizada.

El cableado que aparece en esta imagen se explicará detalladamente en el apartado 4.8.4. Esquema de conexionado del control de temperatura del agua de la piscina climatizada.

4.8.2. Descripción funcional del control de temperatura del agua de la piscina climatizada.

El funcionamiento del control de temperatura del agua de la piscina climatizada, está basado en un control PID. Un control PID, como anteriormente se dijo en el apartado 3.4.6, es un sistema de regulación que viene caracterizado por la expresión:

$$y(t) = Kp \cdot e(t) + \frac{Kp}{Ti} \int_0^t e(t) dt + Kp \cdot Td \frac{de(t)}{dt}$$

Para la regulación de la mayoría de los procesos se utilizan tres parámetros, que son Kp (constante proporcional, en algunos controladores este valor esta expresado en Banda proporcional BP que es igual a $BP=100/Kp$), Ki (constante integral) que es igual a $\frac{Kp}{Ti}$ y Kd (constante derivativa) que es igual a, y por consiguiente tres acciones, que son la acción proporcional Kp que es igual a $Kp \cdot e(t)$, la acción integral que es igual a $\frac{Kp}{Ti} \int_0^t e(t) dt$ y la acción derivativa que es igual $Kp \cdot Td \frac{de(t)}{dt}$. Dicho esto, a continuación se explicará el funcionamiento del control de temperatura del agua de la piscina climatizada.

Dependiendo del error calculado por el controlador PID (placa Arduino Mega2560), a partir del valor deseado de temperatura o SP menos el valor del proceso (temperatura del agua), la respuesta del sistema será una u otra. Cuando el error sea grande, la variable medida o temperatura del agua esté muy lejos de la variable deseada, la acción proporcional calculará una señal proporcional a la señal de error, y el controlador enviará una señal de salida analógica proporcional a ese cálculo al regulador de potencia Kemo para que actúe sobre la resistencia calefactora. Una vez llegue a ser la temperatura igual al SP o valor deseado. En ese momento entrará a funcionar la acción integral calculando una señal proporcional al tiempo en el que la temperatura ha sido diferente al SP o valor deseado y el controlador enviará una señal proporcional a la suma de la acción proporcional y la acción integral al regulador de potencia Kemo para que actúe sobre la resistencia calefactora. También en este momento, el zumbador sonará durante diez segundos, informando al usuario de que el agua está en el valor deseado o cerca de él.

La acción derivativa solo funcionará cuando haya un cambio brusco en el sistema que haga que la señal de error cambie de ser pequeña a ser muy grande, y dejará de funcionar cuando el sistema vuelva a la estabilidad. En este caso la acción derivativa calculará una señal proporcional a la velocidad con la que la temperatura ha cambiado respecto del SP o valor deseado. En ese momento el controlador enviará una señal proporcional a la suma de las tres acciones al regulador de potencia Kemo para que actúe sobre la resistencia calefactora.

El valor deseado o SP podrá ser cambiado por el usuario desde la interfaz de operador o pantalla LCD. También se encenderá un led amarillo indicando que el sistema de control de temperatura del agua de la piscina climatizada está en funcionamiento.

Ejemplo práctico.

Supongamos que la temperatura del agua de la piscina climatizada se encuentra a 20 °C y el valor deseado o SP que se quiere es de 25 °C, y que cuando la temperatura del agua lleva estabilizada unos minutos en el SP o valor deseado, se echan tres litros de agua fría en la piscina, bajando la temperatura del agua hasta los 12 °C. Ante estas situaciones el sistema se comportará de la siguiente manera.

El sensor de temperatura DS18B20 enviará una señal de medida al controlador de 20 °C, el controlador PID(placa Arduino Mega2560), en ese mismo instante calculará la señal de error ($e = SP - \text{Variable medida}$) que sería de unos 5 °C y empezará a regular la temperatura, entrando a funcionar primeramente la acción proporcional ($Kp \cdot e(t)$), calculando una señal proporcional a la señal de error y enviando una señal de salida analógica proporcional a ese cálculo al regulador de potencia Kemo para que actúe sobre la resistencia calefactora. Más tarde, cuando la temperatura haya llegado al SP, entonces empezará a funcionar la acción integral ($\frac{Kp}{Ti} \int_0^t e(t)$) del controlador PID, calculando una señal proporcional al tiempo en el que la temperatura ha sido diferente al SP, y enviando una señal proporcional a la suma de la acción proporcional y la acción integral al regulador de potencia Kemo para que actúe sobre la resistencia calefactora. Y en el momento en el que se echen los tres litros de agua fría, bajando la temperatura del agua hasta los 12 °C, en ese momento el sensor DS18B20 enviará una señal de medida a la placa Arduino y entrará a funcionar la acción derivativa ($Kp \cdot Td \frac{de(t)}{dt}$) del controlador PID, calculando una señal proporcional al tiempo en el que la temperatura ha sido diferente al SP o valor deseado y enviando una señal proporcional a la suma de las tres acciones al regulador de potencia Kemo para que actúe sobre la resistencia calefactora.

A continuación se muestra la pantalla LCD en el menú para cambiar el SP o valor deseado y el diagrama de flujo del control de temperatura del agua de la piscina climatizada.



Ilustración 130: Pantalla LCD del control de temperatura del agua de la piscina climatizada.

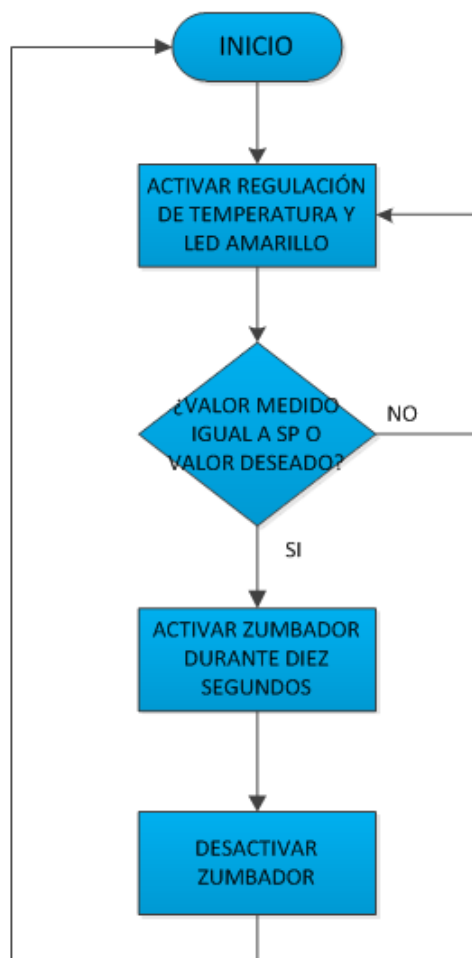


Ilustración 131: Diagrama de flujo del control de temperatura del agua de la piscina climatizada.

4.8.3. Esquema de instrumentación del control de temperatura de la piscina climatizada.

En este esquema se muestran los equipos e instrumentos utilizados para controlar la temperatura del agua de la piscina climatizada.

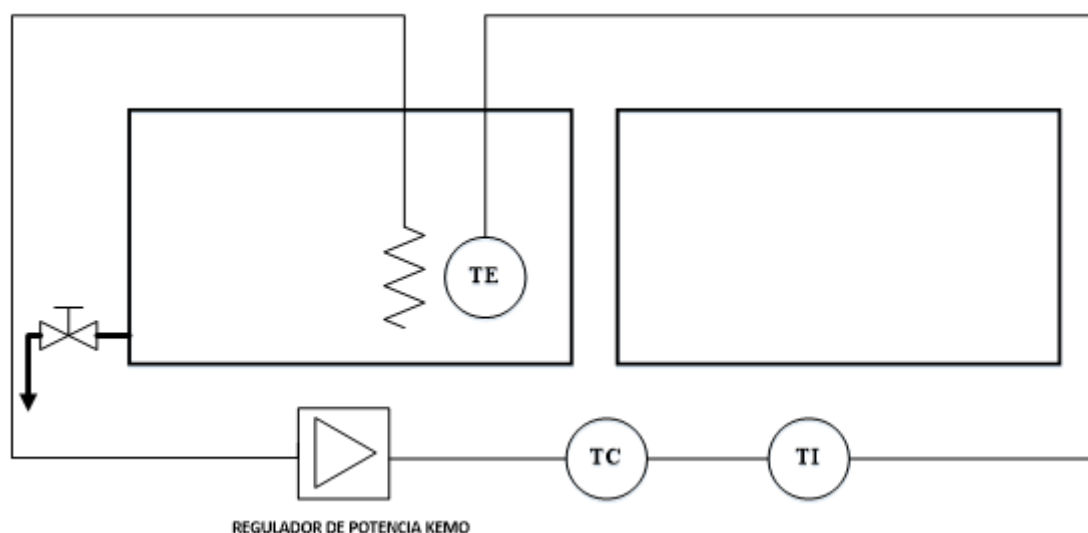


Ilustración 132: Esquema de instrumentación del control de temperatura del agua.

Donde:

TE: Sensor de temperatura (sensor de temperatura DS18B20), para medir la temperatura del agua de la piscina climatizada.

TI: Indicador de temperatura (Pantalla LCD), para mostrar la temperatura del agua de la piscina climatizada.

TC: Controlador de temperatura (Placa Arduino Mega2560), para controlar la temperatura del agua de la piscina climatizada.



: Regulador de potencia Kemo, para activar proporcionalmente la resistencia calefactora cuando el controlador de temperatura (Placa Arduino Mega2560) lo ordene.

4.8.4. Esquema de conexionado del control de temperatura del agua de la piscina climatizada.

En este esquema se muestran las diferentes conexiones eléctricas que hay que realizar en el control de temperatura del agua de la piscina climatizada.

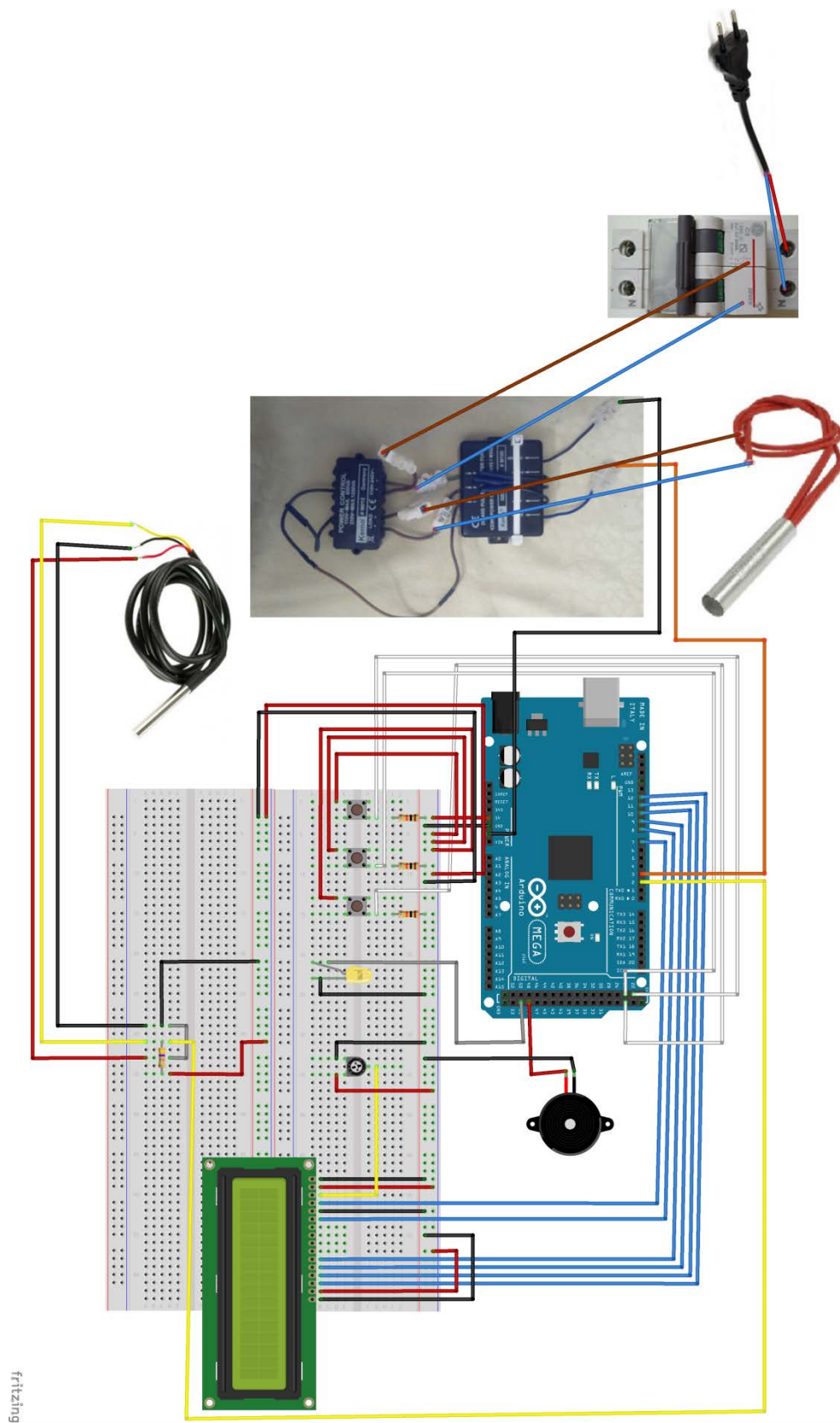


Ilustración 133: Esquema de conexionado del control de temperatura del agua de la piscina climatizada.

A continuación se explicará con detalle el esquema de conexionado del control de temperatura del agua de la piscina climatizada.

El orden que se seguirá para explicar el esquema de conexionado del control de temperatura del agua de la piscina climatizada será el mismo que se utilizó para describir los demás controles, que es:

1. Actuación: En esta parte se hablara del conexionado del regulador de potencia Kemo y de la resistencia calefactora.
2. Medida: En esta parte se hablara del conexionado del sensor de temperatura DS18B20.
3. Control: En esta parte se hablara de la placa Arduino y de los dispositivos que ofrecen información del control de temperatura del agua de la piscina climatizada y permiten dar órdenes al sistema automático, como son, la pantalla LCD, varios botones, un zumbador y un led.

En la parte de actuación, el regulador de potencia está dividido en tres partes: la carga o load que es donde ira conectada la resistencia calefactora, la alimentación que es donde se conectara el regulador de potencia Kemo a la red eléctrica y la parte de regulación de la carga donde el cable “PULSE” se conectara al pin “3” y el cable ground al “GND” de la parte de alimentación de la placa Arduino.

En la parte de medida, el sensor de temperatura DS18B20 tiene 3 pines, dos de alimentación que son un “Vcc” y “GND” y uno de datos “DATA”. Los pines “Vcc” y “GND” deben ir conectados entre sí, el cable “GND” debe ir conectado al “GND” de la protoboard, el cable de datos al pin “2” y los 5 Vdc de alimentación se deben introducir al cable de datos mediante una resistencia pull up igual a 4,7 K Ω .

Y por último la parte de control, que es igual que la parte de control de los demás controles excepto porque se ha añadido un zumbador que ira conectado al pin “49” y al “GND” de la protoboard y un led que ira conectado al pin “51” y al “GND” de la protoboard.

4.8.5. Programación en Arduino del control de temperatura de la piscina climatizada.

Antes de programar el control de temperatura del agua de la piscina climatizada, se debe instalar la librería del control PID. Como se explico anteriormente en el apartado en el apartado 4.6.5, hay que hacer click en Sketch>Import library>Add library en el menú del programa Arduino, para luego seleccionar el archivo que contiene la librería del control PID, llamada br3ttb-Arduino-PID-Library-v1.1.1-2-gfb095d8 V [18,19]. Una vez hecho esto, ya se puede programar el control de temperatura del agua de la piscina climatizada. A continuación se muestra el código creado para controlar la temperatura del agua de la piscina climatizada.

```
#include <PID_v1.h>
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
#include <LiquidCrystal.h>

LiquidCrystal lcd(7, 8, 9, 10, 11, 12);

int oneWireBus=2;
OneWire oneWire(oneWireBus);
DallasTemperature sensors(&oneWire);

int calentador=3;
int bocina=49;
int ledTemperatura=51;
int contadorBocina=0;
double valorDeseado=35.00;
int mode=22;
int up=24;
int down=25;
int numeroPulsaciones=0;
double temperatura;
int sP;
int input;
double Setpoint, Input, Output;

double Kp=25, Ki=0, Kd=0;
PID myPID(&Input, &Output, &Setpoint, Kp, Ki, Kd, DIRECT);

void setup()
{
    lcd.begin(16,2);
    Serial.begin(9600);
    pinMode(oneWireBus, INPUT);
    pinMode(bocina, OUTPUT);
    pinMode(ledTemperatura, OUTPUT);
    myPID.SetMode(AUTOMATIC);
    sensors.begin();
}

void loop()
{
    sensors.requestTemperatures();
    Input=input;
    Setpoint=sP;
    analogWrite(calentador, Output);
    sP=((valorDeseado+50)/(125+50))*((1024-0)+(0));
    temperatura=sensors.getTempCByIndex(0);
    input= ((temperatura+50)/(125+50))*((1024-0)+(0));
    digitalWrite(ledTemperatura, HIGH);

    if(digitalRead(mode)==HIGH){

        delay(200);
        numeroPulsaciones=numeroPulsaciones+1;
        lcd.clear();

    }

    if(numeroPulsaciones==2){
```

```

    numeroPulsaciones=0;

}

switch(numeroPulsaciones){

case 0:

    lcd.setCursor(2,0);
    lcd.write("Temperatura");
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.write("*****");
    break;

case 1:

    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.write("Temp: ");
    lcd.setCursor(6,0);
    lcd.print(sensors.getTempCByIndex(0));
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.write("SP: ");
    lcd.setCursor(4,1);
    lcd.print(valorDeseado);

    if(digitalRead(up)==HIGH){
        valorDeseado=valorDeseado+1;
    }

    else if(digitalRead(down)==HIGH){
        valorDeseado=valorDeseado-1;
    }

    break;

}

Serial.print("Salida: ");
Serial.print(Output);
Serial.print("  Temperatura: ");
Serial.print(temperatura);
Serial.print(" C");
Serial.print("  Valor Entrada: ");
Serial.print(input);
Serial.print("  SP: ");
Serial.print(sP);
Serial.print("Valor deseado: ");
Serial.println(valorDeseado);
myPID.Compute();
delay(500);

if(input==sP || temperatura==valorDeseado && contadorBocina==0){
    digitalWrite(bocina,HIGH);
    delay(10000);
    digitalWrite(bocina,LOW);
    contadorBocina++;
}

}
}

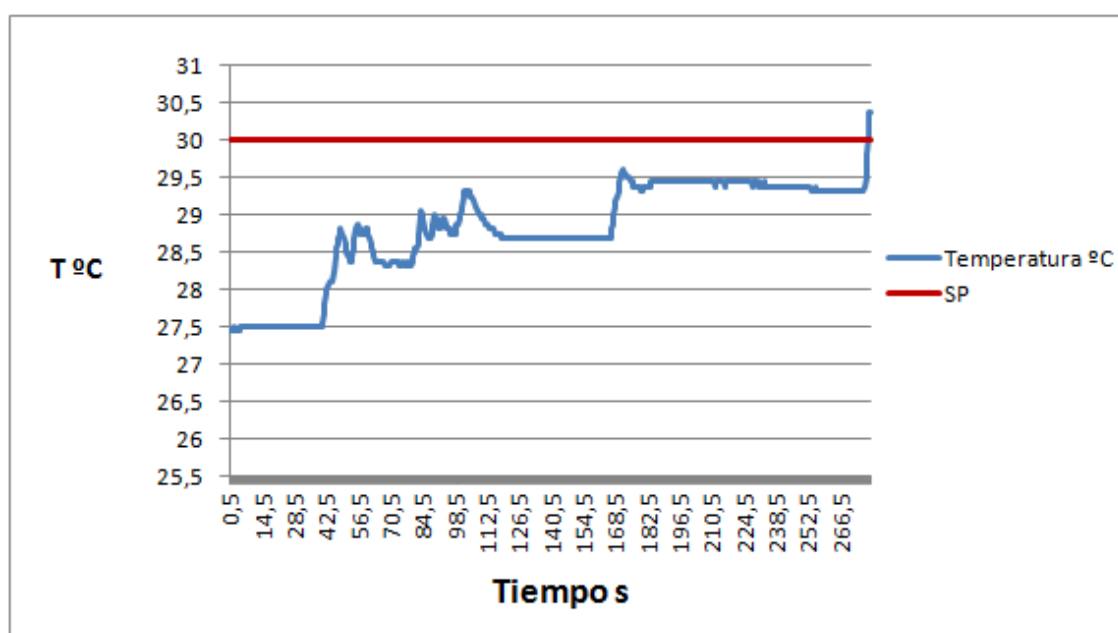
```

4.8.6. Sintonización del control PID de temperatura del agua de la piscina climatizada.

El método de sintonización que se ha utilizado para sintonizar el control de temperatura del agua de la piscina climatizada, ha sido el método de tanteo, debido a que es sencillo de aplicar, el sistema no requiere de demasiada precisión y al carecimiento de herramientas para Graficar la variable en tiempo real como puede ser un osciloscopio o un sistema de adquisición de datos.

El procedimiento a seguir, como se dijo anteriormente en el apartado 3.5.2, se basa en poner en marcha el proceso con las tres acciones PID pequeñas, para ir aumentándolas después poco a poco, hasta obtener la estabilidad deseada.

En la primera prueba, los parámetros que se han seleccionado han sido $K_p=1$, $K_i=2,5$ y $K_d=1$, y se ha introducido un SP igual a 30 °C. Se han elegido estos parámetros porque son parámetros de control PID bajos, para así poder observar con mayor detalle el funcionamiento del sistema. Con estos parámetros se ha observado que el sistema tarda mucho en llegar a la temperatura deseada, debido en gran parte a la poca potencia que tiene la resistencia calefactora y a lo lento que funciona el sistema a causa de los bajos valores de K_p y K_i que se han introducido en el controlador PID. Ante este poco eficiente funcionamiento del sistema, habrá que cambiar los parámetros. Los resultados obtenidos en esta prueba se muestran en la siguiente Gráfica.

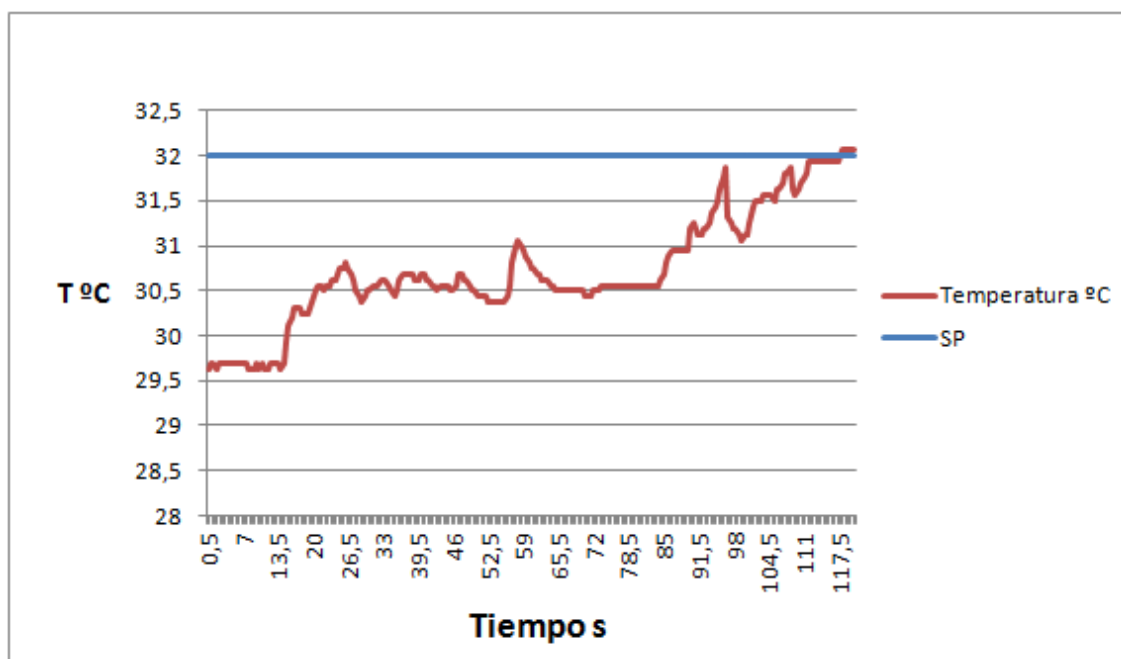


Gráfica 3: Gráfica control PID de temperatura I

En esta Gráfica se puede ver como la temperatura no empieza a subir hasta llegado casi al minuto de funcionamiento y que no llega al régimen permanente hasta casi los cinco

minutos de funcionamiento, deduciendo de esta forma que el sistema es lento pero que no tiene grandes errores, no es muy inestable, por lo que habrá que subir los valores de K_p y K_i de manera leve.

En la segunda y última prueba se han aumentado los valores PID, seleccionando los siguientes parámetros: $K_p=2$, $K_i=5$ y $K_d=1$, y se ha introducido un SP de 32 °C. Con estos parámetros el sistema es más rápido, llega antes a la temperatura deseada o SP y es más estable. Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente Gráfica.



Gráfica 4: Gráfica control PID de temperatura II.

En esta Gráfica se puede ver como la temperatura empieza a subir a los quince segundos de funcionamiento del sistema, y que llega al SP o valor deseado antes de los dos minutos de funcionamiento, Observando de esta manera que el sistema funciona mucho más rápido y estable que en la prueba anterior, siendo suficiente este funcionamiento para el proyecto.

4.8.7. Problemáticas del control de temperatura del agua de la piscina climatizada.

Al empezar a realizar pruebas con el control de temperatura del agua de la piscina climatizada, se observó que el sistema era lento e inestable. Esto era debido a la poca potencia de la resistencia calefactora y a una elección inapropiada de los parámetros

PID. También se observó que cuando la temperatura del agua de la piscina climatizada llegaba al SP o valor deseado de temperatura, el zumbador no sonaba.

4.8.8. Soluciones a las problemáticas del control de temperatura del agua de la piscina climatizada.

El problema de la lentitud e inestabilidad del sistema se solucionó cambiando los parámetros del controlador PID. También se podría haber solucionado y mejorado el sistema cambiando la resistencia calefactora por otra de mayor potencia pero suponía un gasto innecesario.

En cuanto al problema del zumbador, era debido a que el zumbador estaba roto, por lo que se puso otro. El zumbador que se puso es el que aparece a continuación.



Ilustración 134: Zumbador repuesto.

4.9. Control general de la piscina climatizada.

Como se ha podido observar a lo largo de la redacción del proyecto, el control general de la piscina climatizada está compuesto por un control de nivel de agua, un control de iluminación, un sistema de medida de PH, un control de una depuradora y un control de temperatura. Todos ellos formados por varios dispositivos y elementos, como se muestra en el siguiente esquema, que también se mostro en el apartado 4.1.

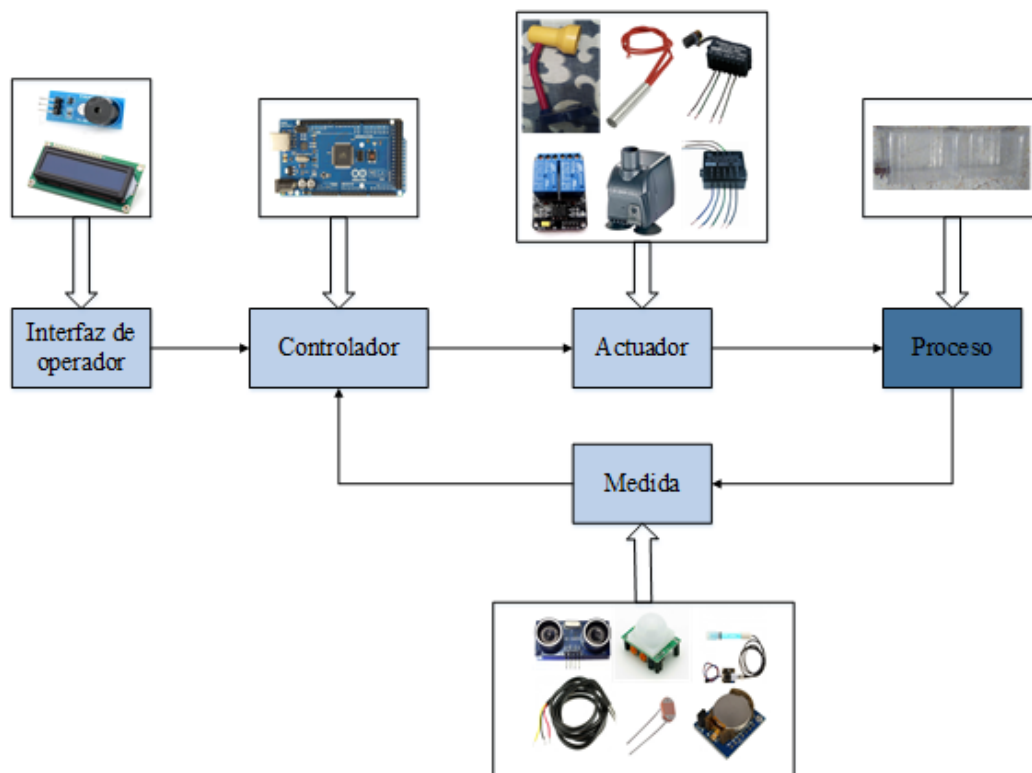


Ilustración 135: Esquema de control del sistema automático de la piscina climatizada II.

4.9.1. Instalación del control general de la piscina climatizada.

No se ha instalado nada, el sistema de control se ha quedado exactamente igual que como aparece en el apartado 4.8.1, ilustración 129.

4.9.2. Descripción funcional del control general de la piscina climatizada.

El funcionamiento general del sistema de control de la piscina climatizada es el siguiente. Primero de todo empezará a llenarse la piscina hasta el nivel de agua deseado, cuando el nivel de agua llegue al nivel deseado, la placa Arduino enviará una señal al relé de la bomba de llenado para que desactive la bomba de llenado, en ese instante empezará la regulación de temperatura del agua de la piscina climatizada.

En cuanto a los demás controles, todos ellos funcionaran de manera independiente, sin condiciones entre unos y otros, como se explicó en las diferentes descripciones funcionales de cada control. A continuación se muestra el diagrama de flujo entre el control de nivel y el control de temperatura.

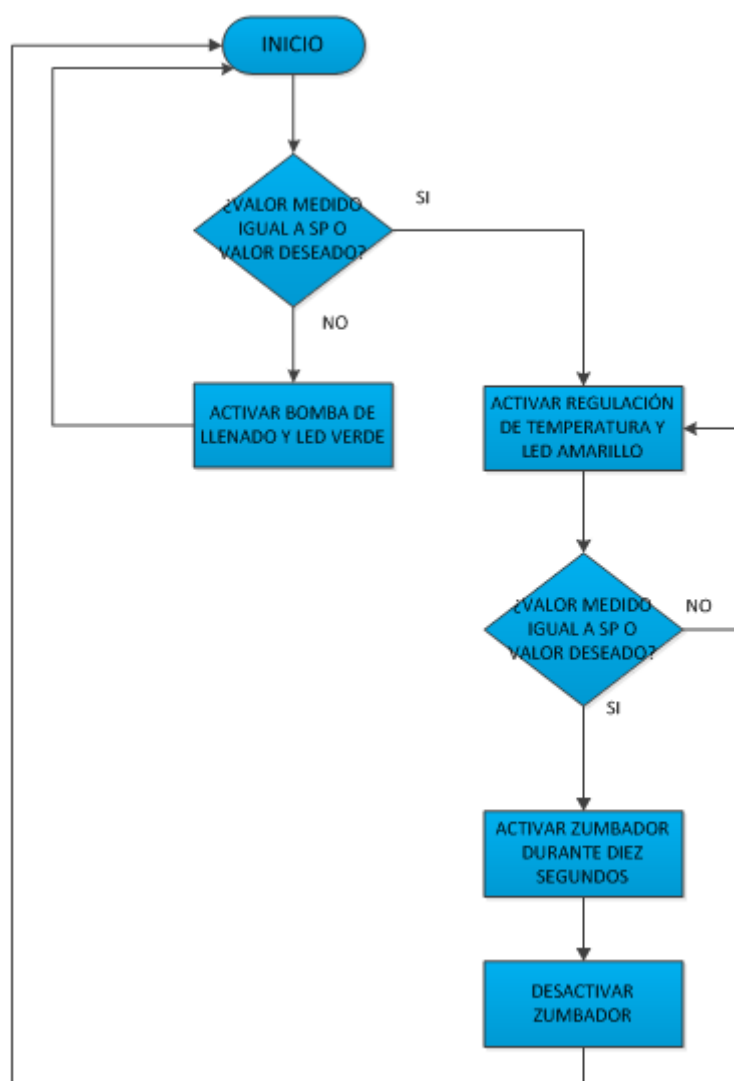


Ilustración 136: Diagrama de flujo entre el control de nivel y el control de temperatura.

4.9.3. Esquema de instrumentación del control general de la piscina climatizada.

En este esquema se mostraran los equipos e instrumentos utilizados para controlar la piscina climatizada.

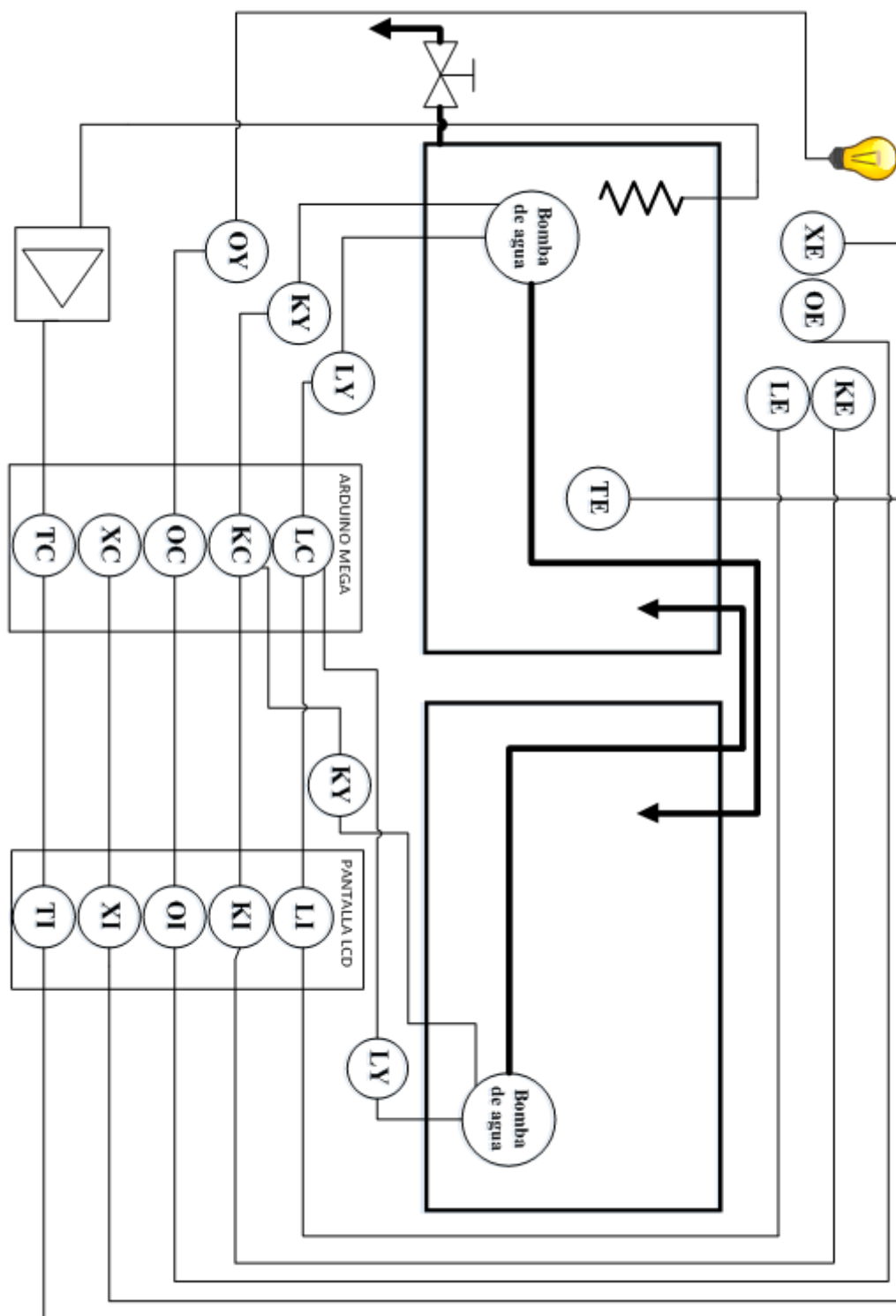


Ilustración 137: Esquema de instrumentación del control general de la piscina climatizada.

Donde:

LE: Sensor de nivel (Sensor de ultrasonidos HC-SR04), para medir el nivel de agua de la piscina climatizada.

LI: Indicador de nivel (Pantalla LCD), para mostrar el nivel de agua de la piscina climatizada.

LC: Controlador de nivel (Placa Arduino Mega2560), para controlar el nivel de agua de la piscina climatizada.

LY: Relé de nivel (Relés Arduino), para activar las bombas de agua cuando el controlador de nivel (Placa Arduino Mega2560) lo ordene.

OE: Sensores de iluminación (Sensor PIR y fotorresistencia LDR), para detectar la presencia de gente y medir la luminosidad del ambiente.

OI: Indicador de iluminación (Pantalla LCD), para cambiar el modo de control Manual/Automático.

OC: Controlador de iluminación (Placa Arduino Mega2560), para controlar la iluminación de la piscina climatizada.

OY: Relé de iluminación (Relé Arduino), para activar el flexo cuando el controlador de iluminación (Placa Arduino Mega2560) lo ordene.

KE: Sensor de tiempo (Modulo Reloj Tiny RTC I2C DS1307), para medir el tiempo.

KI: Indicador del tiempo (Pantalla LCD), para mostrar la hora en la que se activara la depuradora.

KC: Controlador del tiempo (Placa Arduino Mega2560), para controlar la depuradora de la piscina climatizada.

KY: Relé del tiempo (Relés Arduino), para activar la depuradora cuando el controlador del tiempo (Placa Arduino Mega2560) lo ordene.

XE: Sensor de PH, para medir el PH del agua de la piscina climatizada.

XI: Indicador de PH (Pantalla LCD), para mostrar el PH del agua de la piscina climatizada.

XC: Controlador de PH (Placa Arduino Mega2560), para recoger las medidas de PH del agua de la piscina climatizada.

TE: Sensor de temperatura (sensor de temperatura DS18B20), para medir la temperatura del agua de la piscina climatizada.

TI: Indicador de temperatura (Pantalla LCD), para mostrar la temperatura del agua de la piscina climatizada.

TC: Controlador de temperatura (Placa Arduino Mega2560), para controlar la temperatura del agua de la piscina climatizada.



: Regulador de potencia Kemo, para activar proporcionalmente la resistencia calefactora cuando el controlador de temperatura (Placa Arduino Mega2560) lo ordene.

4.9.4. Esquema de conexionado del control general de la piscina climatizada.

En este esquema se muestran las diferentes conexiones eléctricas que hay que realizar en el control general de la piscina climatizada.



II

El esquema de conexionado mostrado anteriormente, es la unión de los esquemas de conexionado del control de nivel de agua, control de iluminación, control de la depuradora, medida de PH y control de temperatura. La explicación de este esquema de conexionado sería el conjunto de las explicaciones de los esquemas de conexionado de cada control, redactadas anteriormente en los apartados 4.4.4, 4.5.4, 4.6.4, 4.7.4 y 4.8.4.

4.9.5. Programación en Arduino del control general de la piscina climatizada.

En este apartado se verá el código que realiza todas las funciones del sistema de control de la piscina climatizada.

```
#include <Wire.h>
#include <PID_v1.h>
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
#include <LiquidCrystal.h>
#include "RTCLib.h"

LiquidCrystal lcd(7, 8, 9, 10, 11, 12);

int oneWireBus=2;
OneWire oneWire(oneWireBus);
DallasTemperature sensors(&oneWire);

RTC_DS1307 RTC;

int trigger=5;
int echo=6;
int mode=22;
int up=24;
int down=25;
int numeroPulsaciones=0;
String vaciado="No";
String llenado="No";
int spNivel=13;
int ledVacio=26;
int ledLlenado=27;
int bombaVacio=29;
int bombaLlenado=28;

long distancia;
long medidaNivel;
long tiempo;

int sensorPIR=52;
int flexo=31;
int sensorLDR=0;
int valorLDR=0;

int encenderLuz=32;
int apagarLuz=33;
String opcionIluminacion="A";

DateTime future=0;
```

```

int duracionDepuradora=10;
int segundos=00;
int minutos=17;
int hora=1;
int ledDepuradora=53;

int sensorPin=1;
unsigned long int avgValue; //valor medio PH
float b;
int buf[10],temp;

//Valor obtenido de la mediaPH
float valorPH = 0;

int calentador=3;
int bocina=49;
int ledTemperatura=51;
int contadorBocina=0;
double valorDeseado=26.00;
int sP;
int input;
double Setpoint, Input, Output;
float temperaturaGeneral;

double Kp=2, Ki=5, Kd=1;
PID myPID(&Input, &Output, &Setpoint, Kp, Ki, Kd, DIRECT);

void setup() {
  lcd.begin(16,2);
  Serial.begin(9600);
  pinMode(oneWireBus,INPUT);
  pinMode(bocina,OUTPUT);
  pinMode(ledTemperatura,OUTPUT);
  myPID.SetMode(AUTOMATIC);
  sensors.begin();
  Wire.begin();
  RTC.begin();

  pinMode(ledDepuradora,INPUT);
  pinMode(sensorPIR,INPUT);
  pinMode(flexo,OUTPUT);
  pinMode(encenderLuz,INPUT);
  pinMode(apagarLuz,INPUT);
  pinMode(trigger,OUTPUT);
  pinMode(echo,INPUT);
  pinMode(mode,INPUT);
  pinMode(up,INPUT);
  pinMode(down,INPUT);
  pinMode(ledVacio,OUTPUT);
  pinMode(ledLlenado,OUTPUT);
  pinMode(bombaLlenado,OUTPUT);
  pinMode(bombaVacio,OUTPUT);

  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.write("Eduardo Valero");
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.write("TFG: Piscina");
  delay(1000);
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0,1);

```

```

    lcd.write("Inicializando");
    lcd.setCursor(13,1);
    for(int mover=0;mover<3;mover++){
        lcd.write(".");
        delay(500);
    }
    lcd.clear();
}

void loop() {

    //PASO 1.- Calculo del nivel de agua:
    nivel(spNivel, distancia, tiempo);

    //PASO 2.- Obtenemos el valor de iluminacion:
    iluminacion(opcionIluminacion);

    //PASO 3.- Calculo relacionados con la depuradora:
    depuradora(duracionDepuradora, segundos, minutos, hora);

    //PASO 4.- Calculo del valor PH (que se utilizara en las
    pulsaciones):
    valorPH = medidaPH();

    //PASO 5.- Obtencion de la temperatura:
    temperatura();

    //PASO 6.- Se realizan las pulsaciones:
    pulsaciones();
}

/**
 * Metodo que calcula el nivel de agua.
 */
void nivel(int spNivel, long distancia, long tiempo){

    //Medida del nivel de agua.
    digitalWrite(trigger,LOW);
    delayMicroseconds(2);
    digitalWrite(trigger,HIGH);
    delayMicroseconds(10);
    digitalWrite(trigger,LOW);

    tiempo=pulseIn(echo,HIGH);
    distancia=(tiempo/2)/29;
    medidaNivel=((distancia-20)/(1.7-20))*((20-0)+(0));

    if(medidaNivel<spNivel && llenado.equals("Si")){
        digitalWrite(ledLlenado,HIGH);
        digitalWrite(bombaLlenado,HIGH);
        digitalWrite(ledVacio,LOW);
        digitalWrite(bombaVacio,LOW);
        vaciado="No";
    }
}

```

```

}else if(medidaNivel==spNivel){
    digitalWrite(ledLlenado,LOW);
    digitalWrite(bombaLlenado,LOW);
    digitalWrite(bombaVacio,LOW);
    digitalWrite(ledVacio,LOW);
}

else if (medidaNivel>spNivel){
    digitalWrite(bombaVacio,HIGH);
    digitalWrite(ledVacio,HIGH);
}

if(vaciado.equals("Si") && medidaNivel>0){
    digitalWrite(bombaVacio,HIGH);
    digitalWrite(bombaLlenado,LOW);
    digitalWrite(ledVacio,HIGH);
    digitalWrite(ledLlenado,LOW);
    llenado="No";

}else if(vaciado.equals("No")){
    digitalWrite(ledVacio,LOW);
    digitalWrite(bombaVacio,LOW);

}else if(medidaNivel<=1){
    digitalWrite(ledVacio,LOW);
    digitalWrite(bombaVacio,LOW);
}

}

/**
 * Metodo que establece los valores de la iluminacion segun la
 * opción seleccionada
 */
void iluminacion(String opcionIluminacion){
    valorLDR=analogRead(sensorLDR);

    if(opcionIluminacion.equals("A")){
        if(digitalRead(sensorPIR)==HIGH && valorLDR>900){
            digitalWrite(flexo,HIGH);

        } else if(digitalRead(sensorPIR)==LOW || valorLDR<=900){
            digitalWrite(flexo,LOW);
        }
    }

    if(opcionIluminacion.equals("M")){
        if(digitalRead(encenderLuz)==HIGH){
            digitalWrite(flexo,HIGH);

        }else if(digitalRead(apagarLuz)==HIGH){
            digitalWrite(flexo,LOW);
        }
    }
}

```

```

}

/**
 * Metodo que establece los valores de la depuradora en función de
 * la duración y la hora.
 */
void depuradora(int duracionDepuradora, int segundos, int minutos,
int hora){

    DateTime now = RTC.now();

    if(hora==now.hour() && minutos==now.minute() &&
segundos==now.second()){
        digitalWrite(bombaLlenado,HIGH);
        digitalWrite(bombaVacio,HIGH);
        digitalWrite(ledDepuradora,HIGH);
        future = now.unixtime() + duracionDepuradora;
    }

    if (now.unixtime() >= future.unixtime() &&
digitalRead(ledDepuradora)){
        digitalWrite(bombaLlenado,LOW);
        digitalWrite(bombaVacio,LOW);
        digitalWrite(ledDepuradora, LOW);
    }

}

}

/**
 * Metodo que calcula la medida de PH.
 */
float medidaPH(){
    //Obtener 10 medidas analogicas
    for(int i=0;i<10;i++){
        buf[i]=analogRead(sensorPin);
        delay(10);
    }

    //Ordenar de mayor a menor las 10 medidas
    for(int i=0;i<9;i++){
        for(int j=i+1;j<10;j++){
            if(buf[i]>buf[j]){
                temp=buf[i];
                buf[i]=buf[j];
                buf[j]=temp;
            }
        }
    }

    avgValue=0;

    //Coge las medidas analogicas 3,4,5,6,7,8

```

```

    for(int i=2;i<8;i++){
        avgValue+=buf[i];
    }

    //Media de las seis medidas analogicas y conversión de la media
    analogica a milivoltios
    float phValue=(float)avgValue*5.0/1024/6;
    //conversión de milivoltios a PH
    phValue=3.5*phValue;

    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.write("PH: ");
    lcd.setCursor(4,0);
    lcd.print(phValue);

    return phValue;
}

/**
 * Metodo que obtiene la temperatura.
 */
void temperatura(){
    sensors.requestTemperatures();
    Input=input;
    Setpoint=sP;
    analogWrite(calentador,Output);

    sP=((valorDeseado+50)/(125 +50))*((1024-0)+(0));
    temperaturaGeneral=sensors.getTempCByIndex(0);
    input = ((temperaturaGeneral+50)/(125+50))*((1024-0)+(0));
    digitalWrite(ledTemperatura,HIGH);

    myPID.Compute();
    delay(500);

    if(temperaturaGeneral==valorDeseado && contadorBocina==0){
        digitalWrite(bocina,HIGH);
        delay(10000);
        digitalWrite(bocina,LOW);
        contadorBocina++;
    }
}

/**
 * Metodo que realiza las acciones en función de las pulsaciones.
 */
void pulsaciones(){
    if(digitalRead(mode)==HIGH){
        delay(200);
        numeroPulsaciones=numeroPulsaciones+1;
        lcd.clear();
    }
}

```

```

    if(numeroPulsaciones==11){
        numeroPulsaciones=0;
    }

    //Según el numero de pulsaciones realizara las siguientes
    acciones:
    //0 = Muestra las medidas de todas las variables y se puede
    seleccionar sp temperatura
    //1 = Menú Nivel
    //2 = Selección SP nivel
    //2 = Llenar piscina
    //3 = Vaciar piscina
    //4 = Menú Iluminación
    //5 = Selección modo automático o manual control iluminación
    //6 = Menú depuradora
    //7 = Selección hora activación depuradora
    //8 = Selección duración depuradora
    //9 = Selección SP temperatura
    switch(numeroPulsaciones){
        case 0:
            lcd.setCursor(0,0);
            lcd.write("N: ");
            lcd.setCursor(3,0);
            lcd.print(medidaNivel);
            lcd.setCursor(6,0);
            lcd.print("cm");
            lcd.setCursor(8,0);
            lcd.write("PH: ");
            lcd.setCursor(12,0);
            lcd.print(valorPH);
            lcd.setCursor(0,1);
            lcd.write("T: ");
            lcd.setCursor(3,1);
            lcd.print(sensors.getTempCByIndex(0));
            lcd.setCursor(8,1);
            lcd.write("SP: ");
            lcd.setCursor(12,1);
            lcd.print(valorDeseado);

            if(digitalRead(up)==HIGH){
                valorDeseado=valorDeseado+1;
            }
            else if(digitalRead(down)==HIGH){
                valorDeseado=valorDeseado-1;
            }
            break;

        case 1:
            lcd.begin(16,2);
            lcd.setCursor(0,0);
            lcd.setCursor(6,0);
            lcd.print("Nivel");
            lcd.setCursor(0,1);
            lcd.print("*****");

            break;
    }

```

```

case 2:
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.write("Nivel: ");
    lcd.setCursor(7,0);
    lcd.print(sensors.getTempCByIndex(0));
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.write("SP: ");
    lcd.setCursor(4,1);
    lcd.print(spNivel);

    if(digitalRead(up)==HIGH){
        spNivel=spNivel+1;

    }else if(digitalRead(down)==HIGH){
        spNivel=spNivel-1;
    }

    break;

case 3:
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.write("LlenarPiscina:");
    lcd.setCursor(14,0);
    lcd.print(llenado);

    if(digitalRead(up)==HIGH){
        llenado="Si";

    }else if(digitalRead(down)==HIGH){
        llenado="No";
    }

case 4:
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.write("VaciarPiscina:");
    lcd.setCursor(14,0);
    lcd.print(vaciado);

    if(digitalRead(up)==HIGH){
        vaciado="Si";

    }else if(digitalRead(down)==HIGH){
        vaciado="No";
    }

case 5:
    lcd.setCursor(3,0);
    lcd.write("Iluminacion");
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.write("*****");

    break;

case 6:
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.write("Auto o Manual: ");
    lcd.setCursor(14,0);
    lcd.print(opcionIluminacion);

```

```

    if(digitalRead(up)==HIGH){
        opcionIluminacion="A";

    }else if(digitalRead(down)==HIGH){
        opcionIluminacion="M";
    }

    break;

case 7:
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.setCursor(3,0);
    lcd.write("Depuradora");
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.write("*****");
    break;

case 8:
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.write("Hora Depuradora");
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.setCursor(4,1);
    lcd.print(hora);
    lcd.setCursor(6,1);
    lcd.write(":");
    lcd.setCursor(7,1);
    lcd.print(minutos);
    lcd.setCursor(9,1);
    lcd.print(":");
    lcd.setCursor(10,1);
    lcd.print(segundos);

    if(digitalRead(up)==HIGH){
        hora=hora+1;
    }

    if(digitalRead(down)==HIGH){
        minutos=minutos+1;
    }

    if(hora==25 || hora== -1){
        hora=00;
    }

    if(minutos==61){
        minutos=00;
    }

    break;

case 9:
    lcd.setCursor(2,0);
    lcd.write("Temperatura");
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.write("*****");

    break;

```

```

    case 10:
        lcd.setCursor(0,0);
        lcd.write("Temp: ");
        lcd.setCursor(6,0);
        lcd.print(sensors.getTempCByIndex(0));
        lcd.setCursor(0,1);
        lcd.write("SP: ");
        lcd.setCursor(4,1);
        lcd.print(valorDeseado);

        if(digitalRead(up)==HIGH){
            valorDeseado=valorDeseado+1;

        }else if(digitalRead(down)==HIGH){
            valorDeseado=valorDeseado-1;
        }

        break;
    }
}

```

4.9.6. Problemáticas del control general de la piscina climatizada.

Además de las problemáticas expuestas anteriormente en cada uno de los sistemas, hay que decir que sigue habiendo ruido eléctrico que provoca el apagado de la pantalla LCD o la aparición de caracteres raros que impiden ver la información de la pantalla.

4.9.7. Soluciones a las problemáticas del control general de la piscina climatizada.

El problema del apagado de la pantalla LCD, o la aparición de caracteres raros en la pantalla LCD, ha sido corregido mediante software, reiniciando la pantalla a través del código.

CAPÍTULO 5: RESULTADOS OBTENIDOS

5. RESULTADOS OBTENIDOS.

5.1. Resultados del control de nivel de agua de la piscina climatizada.

Como se dijo anteriormente en el apartado 4.4, el control de nivel del agua de la piscina climatizada está formada por un sensor de ultrasonidos que mide la distancia a la que se encuentra el agua, y a través de varios cálculos realizados por la placa Arduino, se obtiene el nivel del agua. En este apartado se verá hasta que punto es cierto el valor medido por el sistema. Esto se hará midiendo con una regla y con el sistema de control, el nivel del agua que hay ante diferentes entradas de SP o valores deseados, obteniendo así los resultados del valor real, del valor medido y del error de medida. A continuación se muestra una tabla con los resultados obtenidos.

SP o valor deseado (cm)	Valor Medido (cm)	Valor real (cm)	Error de medida (cm)
5	4	5,5	0,5
8	7	8,5	0,5
11	10	11,5	0,5
14	13	14,5	0,5

Tabla 8: Resultados obtenidos en el control de nivel de agua de la piscina climatizada.

En cuanto a las ordenes de llenado y vaciado de la piscina climatizada, funcionan adecuadamente, excepto si en un intervalo corto de tiempo se cambia de orden, se cambia de llenar la piscina a vaciarla, entonces el sistema de control se reiniciara debido a los picos de tensión generados al activar y desactivar las bombas de agua.

5.2. Resultados del control de iluminación de la piscina climatizada.

Como se dijo anteriormente en el apartado 4.5, la medida del control de iluminación de la piscina climatizada está formada por una fotorresistencia LDR y un sensor PIR. En este apartado se verá a que distancia y ante que luz se encenderá o se apagará el flexo. A continuación se muestra una tabla con los resultados obtenidos.

Distancia objeto (cm)	nivel de luz	Valor LDR (bits entrada analógica)	Flexo ON/OFF
5	Alta	835	Apagado
10	media	1000	Encendido
15	Baja	1030	Encendido
20	media	1000	Encendido
10	Alta	800	Apagado
5	Baja	1030	Encendido

Tabla 9: Resultados obtenidos en el control de iluminación de la piscina climatizada.

5.3. Resultados del control de la depuradora de la piscina climatizada.

Para los resultados del control de la depuradora de la piscina climatizada se han realizado pruebas con diferentes horas de activación y con diferentes tiempos de duración de funcionamiento, obteniendo en todas las pruebas resultados exitosos. Cabe decir que con el paso del tiempo el módulo reloj puede desfasarse en el tiempo, haciendo que el sistema se active más tarde o más temprano, esto conlleva que haya que volver a programar la fecha y hora del dispositivo.

5.4. Resultados del sistema de medida de PH.

Para los resultados del sistema de medida de PH, se han hecho ensayos con diferentes líquidos, como son el agua, la leche y la coca-cola, para asegurarse del buen funcionamiento del sistema y de la calibración del sensor.

- **Agua.**
 - PH aproximado del agua del grifo: 7 a 8,5
 - PH medido: 7,11



Ilustración 139: Prueba Agua.



Ilustración 140: Pantalla LCD medida PH agua.

- **Leche.**

- PH de la leche: 6,5
- PH medido: 6,63



Ilustración 141: Prueba leche.



Ilustración 142: Pantalla LCD medida PH leche.

- **Coca-cola.**
 - PH de la Coca-cola: en torno a 3
 - PH medido: 2,81

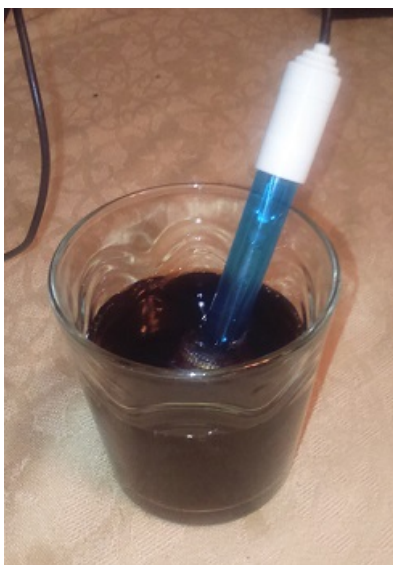


Ilustración 143: Prueba Coca-Cola.



Ilustración 144: Pantalla LCD medida PH Coca-Cola.

Ante los resultados obtenidos en los ensayos de medida anteriores, podemos decir que el sistema de medida funciona adecuadamente y que el sensor de PH está bien calibrado.

5.5. Resultados del control de temperatura de la piscina climatizada.

En el control de temperatura del agua de la piscina climatizada, se han realizado dos tipos de pruebas, una de medida para ver si la temperatura medida por el sensor de temperatura DS18B20 coincide con la de un termostato digital SIEMENS de mayor precisión, asegurando así el buen funcionamiento del sensor, y otra prueba cambiando el SP o valor deseado del control para observar los resultados y comportamiento del sistema.

En la prueba de medida se han obtenido las siguientes temperaturas. 26,87 °C del sensor de temperatura DS18B20 y 27 °C del termostato.



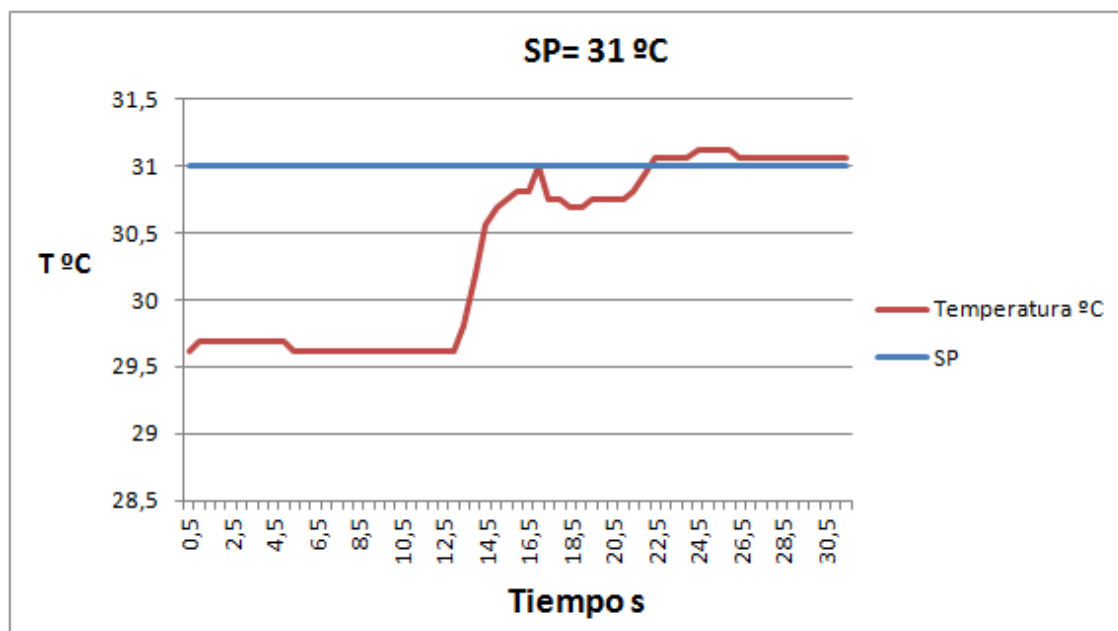
Ilustración 145: Termostato SIEMENS.



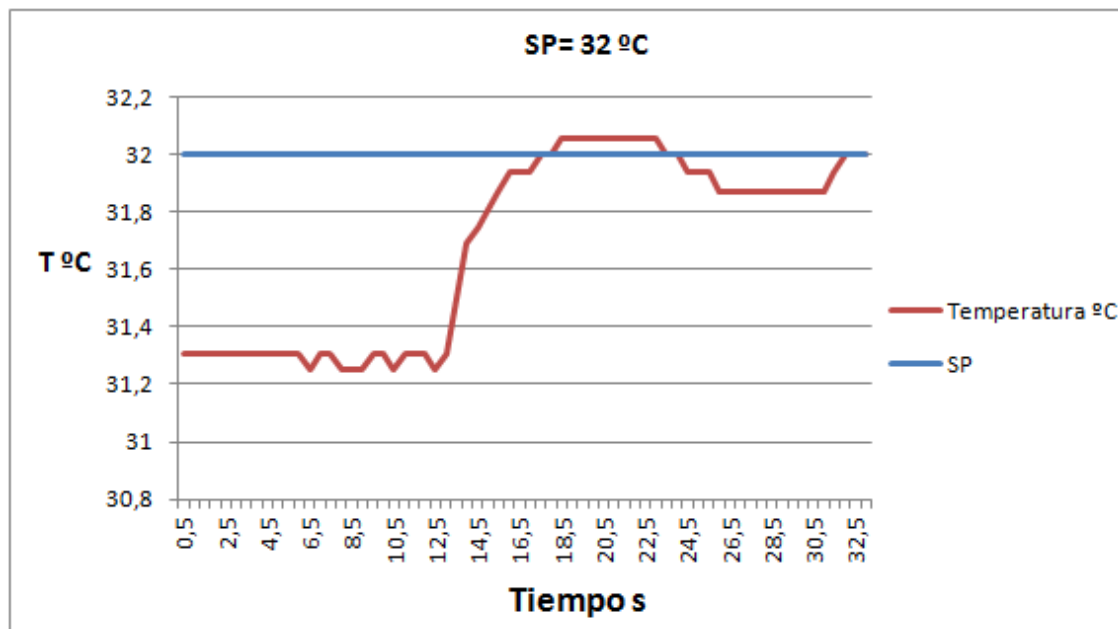
Ilustración 146: Pantalla LCD con la medida del sensor de temperatura DS18B20.

Ante los resultados obtenidos en la prueba de medida, se puede decir que el sensor de temperatura DS18B20 funciona adecuadamente.

En cuanto a las pruebas del control de temperatura del agua de la piscina climatizada, se han seleccionado dos SP, 28 °C y 30 °C, con los valores de PID $K_p=2$, $K_i=5$ y $K_d=1$, antes ajustados e introducidos en el apartado 4.8.6. A continuación se muestran dos gráficas, una para 31 °C y otra para 32 °C, como resultados obtenidos.



Gráfica 5: Gráfica prueba de control de temperatura I.



Gráfica 6: Gráfica prueba de control de temperatura II.

Observando las gráficas mostradas anteriormente, se puede decir que el control de temperatura del agua de la piscina climatizada funciona correctamente por que la temperatura del agua llega al SP o valor deseado en un tiempo corto, debido también a que se ha seleccionado un SP o valor deseado de un grado centígrado más que la temperatura medida del agua, y que al llegar la temperatura del agua al SP , la temperatura se mantiene estable.

CAPÍTULO 6: ESTUDIO ECONOMICO

6. ESTUDIO ECONOMICO.

El estudio económico de este proyecto está formado por:

1. Estudio económico del proyecto realizado.
2. Estudio económico de una piscina climatizada de uso particular.

- **Estudio económico del proyecto realizado.**

La lista de componentes comprados en el proyecto realizado es la siguiente:

- Placa Arduino Mega2560 42,94 € más gastos de envío;
<http://www.cetronic.es/sqlcommerce/disenos/plantilla1/seccion/producto/DetalleProducto.jsp?idIdioma=&idTienda=93&codProducto=151185018&cPath=1339>
- 2 bombas de agua 44 €;
Tienda KIWOKO en Talavera de la Reina (Toledo).
- Relés Arduino 4,32 € sin gastos de envío;
<http://www.aliexpress.com/snapshot/6317807674.html>
- Resistencia calefactora 4,25 € sin gastos de envío;
<http://www.aliexpress.com/snapshot/6552507410.html?orderId=66363326523022>
- Pantalla LCD 16x2 1,64 € sin gastos de envío;
http://es.aliexpress.com/store/product/New-Character-LCD-Module-Display-LCM-1602-16X2-HD44780-Blue-Blacklight/110055_1400836880.html
- Regulador de potencia Kemo 40,88 € más gastos de envío;
<http://www.todoelectronica.com/regulador-de-motores-y-lamparas-reductor-de-luz-p-3584.html>
- Zumbadores 3,73 € sin gastos de envío;
3 € en Tienda Electricidad Castillo Talavera de la Reina (Toledo).
0,73 € en http://es.aliexpress.com/store/product/1pcs-High-Quality-Passive-Buzzer-Module-for-Arduino-New/1084310_1887268913.html
- Sensor de ultrasonidos HC-SR04 3,67 € sin gastos de envío;
<http://www.aliexpress.com/snapshot/6375040123.html?orderId=64827848173022>

- Sensor PIR 2,72 € sin gastos de envío;
<http://www.aliexpress.com/snapshot/6562537776.html?orderId=66393627753022>
- Sensor de PH 34,69 € sin gastos de envío;
<http://www.aliexpress.com/snapshot/6614786463.html?orderId=66845977723022>
- Sensor de temperatura DS18B20 2,61 € sin gastos de envío;
<http://www.aliexpress.com/snapshot/6451981256.html?orderId=6544118704302>
- Fotorresistencia LDR 0,86 € sin gastos de envío;
http://es.aliexpress.com/store/product/Free-Shipping-10pcs-Light-Dependent-Resistor-LDR-Photoresistor-GL5528/1187677_32266672599.html
- Modulo reloj DS1307 1,10 € sin gastos de envío;
<http://www.aliexpress.com/snapshot/6647520741.html?orderId=67072260863022>
- Cables para Arduino 2,90 € sin gastos de envío,
<http://www.aliexpress.com/snapshot/6539016512.html?orderId=66203188423022>
- 2 protoboard 7,26 € sin gastos de envío;
<http://www.aliexpress.com/snapshot/6451981258.html?orderId=65441187053022>
- 2 cajas de plástico 7 € sin gastos de envío;
Tienda Corte Chino en Talavera de la Reina (Toledo).
- Tubos de plástico 4 € sin gastos de envío;
Tienda Riegos Huertas en Talavera de la Reina (Toledo).
- Grifo de plástico 4,50 € sin gastos de envío;
Tienda Bodegas Emiliano en Talavera de la Reina (Toledo).

El total a pagar es 213,07 €. Como se puede observar la mayoría de los elementos han sido comprados en la tienda online aliexpress debido a sus bajos precios en productos electrónicos.

La caja de madera, una pequeña protoboard y los elementos que forman la fuente de alimentación fija de 5 Vdc eran retales en desuso que no han costado nada.

Las horas invertidas en la realización del proyecto son:

En el mes de **octubre** se investigó y estudió sobre proyectos realizados con Arduino, dedicando cinco días a la semana, dos horas al día, haciendo un total aproximadamente de **40 horas** empleadas.

En **diciembre** y **enero** se empezaron a comprar elementos como la placa Arduino Mega2560 y se empezó a estudiar programación en Arduino. En estos dos meses se dedicaron cinco días a la semana, cuatro horas al día, haciendo un total de **160 horas** empleadas en estos dos meses.

En el mes de **febrero** se empezó a montar y programar el proyecto, y a investigar sobre cómo realizar un control PID en Arduino, dedicando seis días a la semana, cinco horas al día. En este mes se dedicaron aproximadamente **120 horas** al día.

En **marzo** se siguió con el montaje y programación del proyecto, y se empezó a redactar, dedicando cinco días a la semana, seis horas al día. En este mes se emplearon aproximadamente **120 horas**.

En el mes de **abril** se termino de montar el proyecto y de programar y de programar todos los controles menos el control PID de temperatura del agua de la piscina climatizada. También se redactó parte del proyecto. En este mes se dedicaron 6 días a la semana, seis horas al día. En este mes se emplearon aproximadamente **144 horas**.

En el mes de **mayo** se termino de programar el control PID de temperatura y se redactó parte del proyecto, dedicando cinco días a la semana, cinco horas al día. En este mes se emplearon aproximadamente **100 horas**.

Los meses de **junio y julio** se dedicaron a los ajustes finales de la consecución del proyecto y a la redacción del proyecto, dedicando 7 días a la semana, 6 horas al día. En estos dos meses se emplearon aproximadamente **336 horas**.

Sumando todas las horas dedicadas al proyecto hacen un total de 1050 horas, a estas se les añadirá unas 12 horas de tutorías con el profesor, sumando un total entre todo de **1062 horas**. Estas horas si las tiene que dedicar un ingeniero en su puesto de trabajo equivaldría aproximadamente a 8 meses. Un ingeniero recién egresado en España cobra alrededor de 1400 euros mensuales, por lo tanto, este proyecto hubiera costado desarrollarlo aproximadamente 11200 más los componentes hacen un total aproximadamente de **11413,07 €**.

Como conclusión se detallaran todas las horas y precios en la siguiente tabla.

Mes	Nº horas trabajadas	Precio*hora (8,75 € la hora)
Octubre	40	350
Diciembre y Enero	160	1400
Febrero	120	1050
Marzo	120	1050
Abril	144	1260
Mayo	100	875
Junio y Julio	336	2940
Tutorías	12	105
Total	1062 horas	11200
	Componentes (213,07 €)	11413,07 €

Tabla 10: Horas trabajadas y precio total.

Las horas dedicadas a cada parte del proyecto se verá en la siguiente tabla.

Sección	Nº horas trabajadas	Precio*hora (8,75 € la hora)
Investigación sobre proyectos Arduino	42	367,5
Montaje proyecto	342	2992,5
Programación Arduino	342	2992,5
Documento	336	2940
Total	1062 horas	9292,5 €
	Componentes (213,07 €)	9505,57 €

Tabla 11: Horas dedicadas a cada sección del proyecto y precio.

- **Estudio económico de una piscina climatizada de uso particular.**

En este apartado se expondrá un presupuesto aproximado de una piscina climatizada de uso particular de medidas 6x3x1,5.

Sección	Descripción	Precio
Documento	Proyecto de ejecución de obra para la elaboración de una piscina climatizada	800
Excavación	Excavación a cielo abierto del terreno donde ira ubicada la piscina climatizada	1400
Cubeta Hormigón	Hormigón proyectado para construir la cubeta de la piscina climatizada	6384
Impermeabilización	Impermeabilización de los muros de la piscina	1893
Revestimimient	Gresite pegado con cemento blanco sobre enfoscado de cemento y arena	2025
Fontanería y depuración	Bomba de agua, 2 skimmers, 4 impulsores, 1 sumidero y 1 regulador de nivel	2647
Iluminación	1 foco halógeno de 300 W	350
Construcción	Estructura metálica para techar la piscina climatizada	7500
Cuadro de control eléctrico	Cuadro con protección por magnetotermico, contactor, reloj programador 24 h, interruptor de 3 posiciones (auto/0/manual), interruptor de luces de la piscina y transformador	487
	Presupuesto aproximado	23486 €
	21 % de IVA	4932,06 €
	Total	28418,06 €

Tabla 12: Presupuesto aproximado de una piscina climatizada de uso particular.

CAPÍTULO 7: CONCLUSIONES

7. CONCLUSIONES.

Para el desarrollo del presente trabajo fin de grado se han invertido muchas horas de investigación y desarrollo sobre sistemas de control basados en Arduino. Estas horas de trabajo han servido para ampliar conocimientos sobre instrumentación y control, y conocer las competencias de su uso. También para ver la importancia de la programación en el control de procesos, y de las matemáticas y leyes de la electricidad/electrónica para la resolución de problemas de ingeniería.

El objetivo principal de este trabajo fin de grado ha sido la creación de un sistema de control de una piscina climatizada que controlase el nivel del agua, la iluminación, la depuradora y la temperatura del agua, además de medir el PH y mostrar todas las variables medidas y controladas en una pantalla LCD.

Para realizar todo lo anterior con garantías, en la primera fase del proyecto, se realizó un estudio del estado del conocimiento en sistemas de control. La construcción de un sistema de control de una piscina climatizada implica afrontar diversas áreas como son, la comunicación entre el sistema de control y el usuario, la interpretación de la información de sensores, control de aparatos, entre otros.

Durante esta fase se pudo ver los posibles problemas que más adelante habría que solucionar.

Al final el proyecto se dividió en once objetivos fundamentales:

- Diseño y construcción desde cero de una maqueta que simule a una piscina climatizada de uso particular.
- Diseño e implementación del control de nivel de la piscina climatizada.
- Definición del comportamiento del control de nivel de la piscina climatizada.
- Diseño e implementación del control de iluminación de la piscina climatizada.
- Definición del comportamiento del control de iluminación de la piscina climatizada.
- Diseño e implementación del control de la depuradora de la piscina climatizada.
- Definición del comportamiento del control de la depuradora de la piscina climatizada.
- Diseño e implementación del sistema de medida de PH.
- Diseño e implementación del control de temperatura del agua de la piscina climatizada.
- Definición del comportamiento del control de temperatura del agua de la piscina climatizada.
- Definición del comportamiento general del sistema de control.

Todos los objetivos citados se han cumplido. En primer lugar se diseñó y construyó una maqueta que simulará a una piscina climatizada.

En segundo lugar se diseñaron e implementaron mediante dispositivos Arduino y técnicas de control “Todo” o “Nada”, los controles de nivel, iluminación y depuradora.

En tercer lugar se diseñó e implemento un sistema de medida de PH del agua mediante un sensor de PH compatible con Arduino, la placa Arduino Mega2560 y una pantalla LCD.

En tercer lugar se diseñó e implemento mediante un sensor de temperatura DS18B20, un regulador de potencia, una resistencia calefactora, una pantalla LCD, la placa Arduino Mega2560 y técnicas de control PID, el control de temperatura del agua de la piscina climatizada.

Y por último, una vez diseñados e implementados todos los controles del sistema, se definió el comportamiento general del sistema de control de la piscina climatizada mediante programación.

La consecución de estos objetivos ha permitido obtener unos resultados positivos, al conseguir crear un sistema de control basado en Arduino de una piscina climatizada. A partir de este prototipo se podrían crear e instalar sistemas de control, no muy diferentes a este, para controlar jacuzzis, acuarios o pequeñas piscinas climatizadas en casas particulares.

CAPÍTULO 8: BIBLIOGRAFÍA

8. BIBLIOGRAFÍA.

- [1] http://automata.cps.unizar.es/Historia/Webs/primeros_ejemplos_historicos_de_.htm
- [2] <http://www.mecatronica.net/emilio/ppt/HistoriaControl.pdf>
- [3] http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lmt/ramirez_r_o/capitulo2.pdf
- [4] <http://www.articuloz.com/ciencia-articulos/analizador-de-ph-phmetro-3520908.html>
- [5] <http://www.slideshare.net/antoniossss/acciones-de-control-30457493>
- [6] **Oscar Torrente Artero** Arduino Curso práctico de formación. Rc Libros -2013-.
- [7] **Simon Monk** 30 proyectos con Arduino. Estribor Editorial -2013-.
- [8] **Gustavo Ginés Gómez** Sistemas de medida y regulación, Libro para el CFGS Sistemas Automáticos de Regulación y Control. -2005-.
- [9] http://www.juntadeandalucia.es/averroes/~23005153/d_tecnologia/bajables/2%20bachillerato/SISTEMÁS%20AUTOMATICOS%20DE%20CONTROL.pdf
- [10] <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3330/340595.pdf?sequence=5>
- [11] <http://dorcu.com/2014/04/medidor-de-distancia-con-arduino-y-sensor-hc-sr04/>
- [12] <http://www.todomarino.com/forum/showthread.php?t=103012>
- [13] <http://www.opiron.com/portfolio/todo-sobre-los-sensores-pir/>
- [14] <http://www.opiron.com/portfolio/todo-sobre-el-sensor-ldr-y-arduino-by-opiron/>
- [15] <http://www.tuelectronica.es/tutoriales/arduino/reloj-rtc-i2c-con-arduino.html>
- [16] <http://www.tuelectronica.es/tutoriales/arduino/reloj-alarma-con-arduino.html>
- [17] http://es.aliexpress.com/store/product/PH-meter-PH-sensor-analog-source-for-Arduino/704833_1786704683.html
- [18] <http://playground.arduino.cc/Code/PIDLibrary>
- [19] <http://blog.bricogeek.com/noticias/arduino/libreria-pid-con-arduino/>
- [20] <http://panamahitek.com/aprendiendo-utilizar-el-sensor-de-temperatura-ds18b20/>

[21] <http://elcajondeardu.blogspot.com.es/2013/12/tutorial-conectando-una-pantalla-lcd.html>

[22] <http://www.todoelectronica.com/regulador-de-motores-y-lamparas-reductor-de-luz-p-3584.html>

[23] **Carlos A. Smith, Armando B. Corripí** Control Automático de Procesos. Noriega - 2006-.

[24] **Karl J. Astrom** Control PID Avanzado. Prentice Hall -2009-.

[25] **José Danilo Rairan Antoniles** Análisis de sistemas dinámicos y control PID. U. Distrital Francisco José -2007-.

[26] **Katsukito Ogata** Ingeniería de Control Moderna. Pearson Educación -2011-.

[27] **Brett Beauregard** Guía de uso de la Biblioteca. Open Libre -2010-.