

ÍNDICE

PREFACIO	XV
CAPÍTULO 1. EL ECOSISTEMA DEL INTERNET DE LAS COSAS	1
INTRODUCCIÓN	1
IOT: UNA VISIÓN GENERAL	5
Conceptos	6
Tendencias y predicciones	9
Elementos	10
Identificación por Radio-Frecuencia	12
Redes de sensores inalámbricos	13
Middleware	15
Cloud Computing	19
Hardware IoT	23
ARQUITECTURAS IOT	28
Arquitectura de referencia	29
Arquitectura orientada a servicios	30
PRINCIPALES ESTÁNDARES Y TECNOLOGÍAS DE COMUNICACIÓN INALÁMBRICA	32

Estándares para IoT.....	32
Estándar IEEE 802.11	32
Estándar IEEE 802.15.4	34
Estándar IEEE 802.15.6	35
Bluetooth	37
LoRaWAN	38
SigFox	39
Estándares 2G, 3G, 4G y 5G	41
Tecnologías para IoT	42
Bluetooth Low Energy	42
ZigBee	43
WIFI.....	43
Z-Wave	44
6LoWPAN	45
SEGURIDAD	46
Requisitos de seguridad	46
Desafíos de seguridad	48
Amenazas y ataques.....	49
APLICACIONES.....	50
Personales.....	50
Smart Watch	51
Smart TV	51
Hogar.....	52
Automatización del hogar	52
Monitoreo de hogar.....	53
Empresa e Industria	53
Monitoreo ambiental.....	53
Monitoreo de salud.....	54
Servicios (industrial & empresarial)	56
Transporte	56
Smart City.....	57
CONCLUSIONES	58
REFERENCIAS.....	59
CAPÍTULO 2. PLACAS ARDUINO: FAMILIA MKR, PORTENTA Y NANO IOT	63
INTRODUCCIÓN.....	63
CONCEPTO DE HARDWARE LIBRE	64
ARDUINO EN IOT	66
Concepto de Arduino en IoT	67
Evolución de Arduino hacia IoT.....	68
Dispositivos Arduino de bajo y medio nivel (Maker).....	69

Dispositivos Arduino de bajo nivel (Vestibles)	70
Dispositivos Arduino de bajo nivel (Educación)	71
Dispositivos Arduino de alto nivel (Industrial)	71
Dispositivos Arduino de alto nivel (IoT)	72
HARDWARE ARDUINO IOT	73
Familia MKR	73
Arduino MKR1000.....	74
Arduino MKR WIFI 1010.....	77
Arduino MKR FOX 1200	80
Arduino MKR WAN 1310.....	83
Arduino MKR GSM 1400	86
Arduino MKR NB 1500	89
Arduino MKR Vidor 4000	92
Familia Portenta.....	95
Arduino Portenta H7	96
Familia Nano IoT	100
Arduino Nano 33 IoT.....	100
Arduino Nano 33 BLE Sense	103
APLICACIONES.....	107
Requerimientos de Arduino en IoT	107
Placas Arduino requeridas	107
Entornos de desarrollo de Arduino requeridos.....	108
Configuración de las placas Arduino	110
Configuración del IDE de Arduino.....	110
Cargar el primer sketch en Arduino	112
Instalar bibliotecas en el directorio de Arduino	113
Aplicación 1: WIFI Ping.....	114
Requerimientos de hardware	114
Requerimientos de software.....	114
Diseño electrónico	115
Descripción general del código fuente.....	115
Resultados finales	119
Aplicación 2: Baliza BLE.....	120
Requerimientos de hardware	120
Requerimientos de software.....	121
Diseño electrónico	121
Descripción general del código fuente.....	121
Resultados finales	125
Aplicación 3: Conexión a una Red LoRa	127
Requerimientos de hardware	128
Requerimientos de software.....	128

Diseño electrónico	128
Descripción general del código fuente	129
Resultados finales	133
CONCLUSIONES	136
REFERENCIAS.....	137
CAPÍTULO 3. CONECTIVIDAD IOT.....	139
INTRODUCCIÓN	139
ESTÁNDARES DE REDES (MODELOS OSI Y TCP/IP).....	140
Capa Física y Acceso a la Red	141
Capa de Internet	142
Capa de Transporte.....	143
Capa de Aplicación	144
PROTOCOLOS DE RED DE COMUNICACIÓN.....	146
Tecnologías de red IoT de Capa Física y Acceso a la Red.....	147
Redes alámbricas IoT	148
Redes inalámbricas IoT	164
Tecnologías de red IoT de Capa de Internet.....	175
ZigBee	176
IPv6	180
Tecnologías de red IoT de Capa de Transporte	184
UDP	184
TCP	186
Tecnologías de red IoT de Capa de Aplicación	190
MQTT	190
AMQP.....	194
XMPP.....	198
CoAP.....	201
HTTP.....	203
CONEXIÓN A REDES INALÁMBRICAS DE IOT	206
Características de redes inalámbricas	206
Rango de cobertura	207
Banda de operación	209
Ancho de banda	209
Consumo de Energía	210
Conectividad Intermitente	210
Interoperabilidad	211
Seguridad	211
Redes LPWAN.....	211
LoRaWAN	213
NB-IoT	215

Coexistencia en redes WIFI, BLE y ZigBee	217
CONEXIÓN A LA NUBE.....	219
Acceso IoT (Directo)	219
Acceso IoT (Gateway).....	220
CONEXIÓN M2M	222
APLICACIONES.....	223
Aplicación 1: Servidor HTTP (conexión WIFI)	223
Requerimientos de hardware	223
Requerimientos de Software	224
Diseño electrónico	224
Descripción general del código fuente.....	224
Resultados finales	228
Aplicación 2: Servidor HTTP para el Control de un LED.....	229
Requerimientos de hardware	230
Requerimientos de software.....	230
Diseño electrónico	230
Descripción general del código fuente.....	230
Resultados finales	235
Aplicación 3: Callback en un Cliente MQTT.....	237
Requerimientos de hardware	237
Requerimientos de software.....	238
Diseño electrónico	238
Descripción general del código fuente.....	238
Resultados finales	242
Aplicación 4: Sensores en Clientes MQTT	242
Requerimientos de hardware	243
Requerimientos de software.....	243
Diseño electrónico	243
Descripción general del código fuente.....	243
Resultados finales	248
Aplicación 5: Cliente CoAP para la Transmisión de Datos	251
Requerimientos de hardware	251
Requerimientos de software.....	252
Diseño electrónico	252
Descripción general del código fuente.....	252
Resultados finales	258
Aplicación 6: Control de LED y Sensores en Clientes MQTT.....	260
Requerimientos de hardware	260
Requerimientos de software.....	261
Diseño electrónico	261
Descripción general del código fuente.....	261

Resultados finales	266
Aplicación 7: Conexión M2M para Dispositivos BLE.....	269
Requerimientos de hardware	269
Requerimientos de software.....	270
Diseño electrónico	270
Descripción general del código fuente.....	271
Resultados Finales.....	279
Aplicación 8: Servidor Serial (Conexión UART).....	279
Requerimientos de hardware	280
Requerimientos de software.....	280
Diseño electrónico	281
Descripción general del código fuente.....	281
Resultados finales	287
CONCLUSIONES	287
REFERENCIAS.....	288
CAPÍTULO 4. ARDUINO PARA GESTIONAR SERVICIOS DE IOT EN LA NUBE	291
INTRODUCCIÓN.....	291
INTERFAZ DE PROGRAMACIÓN DE APLICACIONES.....	292
ARQUITECTURA IOT PARA ARDUINO	293
Requisitos de una arquitectura IoT	294
Conectividad y comunicación	294
Gestión de dispositivos	295
Recolección y análisis de datos.....	295
Escalabilidad	296
Flexibilidad	296
Interoperabilidad	296
Seguridad.....	296
Arquitectura	297
Capa del Dispositivo.....	298
Capa de Comunicación.....	299
Capa de Agregación	300
Capa de Analítica y Procesamiento de Eventos	301
Capa de Comunicación Usuario/Externo	301
Capa de Gestión de Dispositivos.....	302
Capa de Gestión de Identidades y Accesos.....	303
PLATAFORMAS IOT DE CÓDIGO ABIERTO	304
Arduino IoT Cloud	305
Thingspeak	308
Temboo.....	309
Node-RED.....	310

Kaa IoT	311
Thinger.io	312
Thethings.io	313
Adafruit IO	314
GESTIÓN DE SERVICIOS EN IOT	316
Requisitos de gestión de servicios en IoT	317
Interoperabilidad	318
Escalabilidad	318
Conectividad	318
Calidad de Servicio	318
Acuerdos de gestión de servicios	319
Monitorización y visualización	319
Big Data	319
Seguridad y privacidad	320
Clasificación de gestión de servicios	320
Gestión de servicios en Arduino IoT Cloud	322
Conexión, gestion y monitorización	323
Despliegue de Servicios	324
Seguridad	325
APLICACIONES	325
Configuraciones en la plataforma Arduino IoT Cloud	326
Aplicación 1: Sensores en Arduino IoT Cloud	330
Requerimientos de hardware	331
Requerimientos de software	331
Diseño electrónico	331
Descripción general del código fuente	332
Resultados Finales	337
Aplicación 2: LEDs en Arduino IoT Cloud y Amazon Alexa	338
Requerimientos de hardware	338
Requerimientos de software	339
Diseño electrónico	339
Descripción general del código fuente	340
Resultados finales	345
Aplicación 3: Sensores en Arduino IoT Cloud y Google Sheet	348
Requerimientos de hardware	349
Requerimientos de software	349
Diseño electrónico	349
Descripción general del código fuente	350
Resultados finales	360
Aplicación 4: Sensores en Google Sheets	360
Requerimientos de hardware	361

Requerimientos de software.....	361
Diseño electrónico	362
Descripción general del código fuente.....	362
Resultados finales	371
Aplicación 5: Integración Arduino con Adafruit IO.....	372
Requerimientos de hardware	373
Requerimientos de software.....	373
Diseño electrónico	373
Descripción general del código fuente.....	374
Resultados finales	382
Aplicación 6: Integración Arduino con Kaa IoT.....	385
Requerimientos de hardware	385
Requerimientos de software.....	386
Diseño electrónico	386
Descripción general del código fuente.....	387
Resultados finales	398
Aplicación 7: Conexión AWS IoT con seguridad SST/TLS.....	404
Requerimientos de hardware	405
Requerimientos de software.....	406
Diseño electrónico	406
Descripción general del código fuente.....	406
Resultados finales	413
CONCLUSIONES	421
REFERENCIAS.....	421
CAPÍTULO 5. ANÁLISIS Y GESTIÓN DE DATOS IOT	423
INTRODUCCIÓN.....	423
ANÁLISIS DE DATOS IOT Y BIG DATA	424
Importancia del análisis de Big Data	425
Análisis de datos en Cloud Computing.....	425
Análisis de datos en Fog Computing	428
GESTIÓN DE DATOS EN DISPOSITIVOS IOT.....	432
Generación de datos	433
Adquisición de datos.....	435
Validación de datos.....	435
Almacenamiento de datos	437
Procesamiento de datos	438
Retención de datos	439
Análisis de datos	439
GESTIÓN DE ACCIONES Y MONITORIZACIÓN	440
SISTEMAS OPERATIVOS EMBEBIDOS PARA IOT.....	441

Riot.....	442
Contiki.....	443
FreeRTOS.....	443
APLICACIONES.....	445
Aplicación 1: Visualización de Datos en ThingSpeak.....	445
Requerimientos de hardware.....	446
Requerimientos de software.....	446
Diseño electrónico.....	446
Descripción general del código fuente.....	447
Resultados finales.....	453
Aplicación 2: Streaming, Análisis y Visualización de Datos en ThingSpeak.....	455
Requerimientos de hardware.....	457
Requerimientos de software.....	457
Diseño electrónico.....	457
Descripción general del código fuente.....	458
Resultados finales.....	472
Aplicación 3: Gestión de Datos en Edge Computing.....	476
Requerimientos de hardware.....	478
Requerimientos de software.....	478
Diseño electrónico.....	478
Descripción general del código fuente.....	479
Resultados finales.....	492
Aplicación 4: Gestión de Datos en FreeRTOS-Arduino IoT.....	496
Requerimientos de hardware.....	497
Requerimientos de software.....	497
Diseño electrónico.....	498
Descripción general del código fuente.....	498
Resultados finales.....	505
Aplicación 5: Análisis de Datos en AWS IoT Analytics.....	506
Requerimientos de hardware.....	509
Requerimientos de software.....	509
Diseño electrónico.....	510
Descripción general del código fuente.....	510
Resultados finales.....	524
CONCLUSIONES.....	534
REFERENCIAS.....	535
CAPÍTULO 6. DISPOSITIVOS VESTIBLES BASADOS EN ARDUINO PARA IOT.....	537
INTRODUCCIÓN.....	537
REDES INALÁMBRICAS DE ÁREA CORPORAL.....	538
Aplicaciones WBAN.....	539

Aplicaciones médicas	540
Aplicaciones no médicas	542
DISPOSITIVOS VESTIBLES.....	543
Dispositivos para aplicaciones médicas	545
Dispositivos para la asistencia personalizada.....	545
Dispositivos para el tratamiento de enfermedades	546
Dispositivos para aplicaciones no médicas	548
Dispositivos para la localización y orientación.....	548
Dispositivos para la interacción social.....	550
DISPOSITIVOS VESTIBLES IOT EN ARDUINO	550
Sensores.....	551
Actuadores	556
Arduino y IoT en la salud humana.....	557
APLICACIONES.....	559
Aplicación 1: Visualización del Ritmo Cardíaco en un Dispositivo Móvil.....	559
Requerimientos de hardware	560
Requerimientos de software.....	560
Diseño electrónico	561
Descripción general del código fuente.....	561
Resultados finales	566
Aplicación 2: Visualización de la Frecuencia Respiratoria en nRF Cloud	570
Requerimientos de hardware	570
Requerimientos de software.....	571
Diseño electrónico	571
Descripción general del código fuente.....	572
Resultados finales	578
CONCLUSIONES	582
REFERENCIAS.....	583
ANEXOS	585
A: Unidades de Medidas de Almacenamiento	585
B: Lista de Número de Puertos TCP y UDP	586
C: Frecuencia y Anchos de Banda para WBAN	591
D: Códigos de Solicitud/Respuesta y los Tipos de Opciones de CoAP	591
E: Frecuencia LoRaWAN para América y Europa.....	598
ÍNDICE ANALÍTICO.....	601