



Domótica Aplicada al Ahorro y la Eficiencia Energética

Alumno: Juárez, Nahuel Alejandro

Profesor Guía: Talamé, María Lorena

Carrera: Ingeniería en Informática

Unidad Académica: Facultad de Ingeniería

Año Lectivo: 2020

Título

Ingeniero en Informática

Profesor guía

Nombre: Mg. Talamé, María Lorena

Firma: _____

Tribunal Evaluador

Nombre: Ing. Rodríguez, Martín Miguel

Firma: _____

Nombre: Ing. Lucero, Nancy

Firma: _____

Nombre: Ing. Tolaba, Miguel

Firma _____

Alumno

Nombre: Juárez, Nahuel Alejandro

Firma: _____

Fecha de exposición: ____/____/____

Agradecimientos

A mis padres, Liliana y Jorge, ya que gracias a su esfuerzo y apoyo, me permitieron cursar esta carrera y poder desarrollar esta profesión.

A la Mg. Lorena Talamé, por haberme guiado y brindado su apoyo durante este trabajo.

A todos los que hicieron posible que este proyecto pueda ser finalizado.

“Technology is just a tool. In terms of getting the kids working together and motivating them, the teacher is the most important” - Bill Gates

Índice

Índice	4
Índice de Ilustraciones	6
Índice de Tablas.....	8
Abstract	9
Capítulo 1 Introducción.....	10
Descripción del problema	10
Entorno.....	12
Motivación	13
Pasos a seguir	14
Capítulo 2 Estado de la cuestión	15
Domótica	15
¿Qué es domótica?.....	15
Historia de la domótica	16
Sistemas domóticos	17
Arduino.....	18
¿Qué es arduino?	18
¿Por qué arduino?	19
Trabajos relacionados	20
Tecnologías utilizadas	21
Capítulo 3 Definición del problema.....	22
Definición del problema	22
Objetivos	24
Objetivo General	24
Objetivos específicos.....	24
Criterios de éxito	25
Restricciones o límites del trabajo	25
Alcance	26
Recursos	26
Hardware.....	26
Software	29
Alternativas tecnológicas a lo utilizado.....	31
Hardware.....	31
Software	32
Capítulo 4 Estudio del consumo energético	34
Exposición del procedimiento.....	34

Metodología	34
Trabajo Realizado	38
Resultados obtenidos.....	46
Capítulo 5 Solución propuesta	47
Solución Propuesta.....	47
Evaluación económica financiera de la solución propuesta	49
Costo de los materiales	49
Costo de la mano de obra	49
Costo total	49
Gestión del riesgo.....	51
Dificultades no previstas encontradas y sus soluciones	54
Generalización.....	54
Capítulo 6 Conclusiones y futuras líneas de trabajo	55
Capítulo 7 Bibliografía	57
Capítulo 8 Anexos.....	59
Anexo 1 - Diseños de referencia	59
Anexo 2 - Código Arduino	61
Anexo 3 - Funcionamiento de un fotorresistor LDR.....	65
Anexo 4 - Instalación MS SQL Server 2019.....	67
Anexo 5 - Instalación MS SQL Server Management Studio.....	78
Anexo 6 - Creación de la Base de datos, Importación y formateo de datos.....	80
Anexo 7 - Calculo del consumo eléctrico del sistema	91

Índice de Ilustraciones

<i>Ilustración 1 - Anomalía del promedio global de temperaturas en superficie, terrestres y oceánicas</i>	10
<i>Ilustración 2 - Cambio del nivel del mar promediado a nivel mundial</i>	10
<i>Ilustración 3 - Concentraciones de gases de efecto invernadero promediadas a nivel mundial</i>	11
<i>Ilustración 4 - Emisiones directas de CO2 por sectores principales, y emisiones de GEI distintas de CO2, para escenarios de referencia y de mitigación</i>	11
<i>Ilustración 5 - Composición de la demanda</i>	23
<i>Ilustración 6 - Consumo</i>	23
<i>Ilustración 7 - Generación de energía por Fuente</i>	24
<i>Ilustración 8 - Arduino Uno</i>	26
<i>Ilustración 9 - Ethernet Shield</i>	27
<i>Ilustración 10 - Arduino con shield</i>	27
<i>Ilustración 11 - Sensor de presencia (PIR)</i>	28
<i>Ilustración 12 - Sensor de luminosidad (LDR)</i>	28
<i>Ilustración 13 - Conexión de sensores</i>	29
<i>Ilustración 14 - Diagrama del circuito para el análisis</i>	29
<i>Ilustración 15 - IDE Arduino</i>	30
<i>Ilustración 16 - Microsoft SQL Server</i>	30
<i>Ilustración 17 - Rueda de Wallace</i>	35
<i>Ilustración 18 - Método Científico</i>	37
<i>Ilustración 19 - Plano de arquitectura</i>	39
<i>Ilustración 20 - Plano Eléctrico</i>	39
<i>Ilustración 21 - Disposición del sistema para el análisis de datos</i>	40
<i>Ilustración 22 - Sensibilidad y Especificidad</i>	42
<i>Ilustración 23 - Gestión del riesgo</i>	51
<i>Ilustración 24 - Risk Breakdown Structure</i>	51
<i>Ilustración 25 - Diseño de referencia Arduino Uno</i>	59
<i>Ilustración 26 - Diseño de referencia de Arduino Ethernet Shield</i>	60
<i>Ilustración 27 - Instalación SQL Server - Selección tipo de instalación</i>	67
<i>Ilustración 28 - Instalación SQL Server - Selección de idioma</i>	67
<i>Ilustración 29 - Instalación SQL Server - Destino de la descarga</i>	68
<i>Ilustración 30 - Instalación SQL Server - Descarga en proceso</i>	68
<i>Ilustración 31 - Instalación SQL Server - Pantalla de inicio</i>	69
<i>Ilustración 32 - Instalación SQL Server - Selección del tipo de instalación</i>	69
<i>Ilustración 33 - Instalación SQL Server - Selección de edición de SQL</i>	70
<i>Ilustración 34 - Instalación SQL Server - Aceptación de los términos de la licencia</i>	70
<i>Ilustración 35 - Instalación SQL Server - Uso de Microsoft Update para actualizar el programa</i>	71
<i>Ilustración 36 - Instalación SQL Server - Verificación de actualizaciones</i>	71
<i>Ilustración 37 - Instalación SQL Server - Análisis de Requisitos para la instalación</i>	72
<i>Ilustración 38 - Instalación SQL Server - Selección de características a instalar</i>	72
<i>Ilustración 39 - Instalación SQL Server - Verificación de procesos a instalar</i>	73
<i>Ilustración 40 - Instalación SQL Server - Selección del nombre de Instancia</i>	73
<i>Ilustración 41 - Instalación SQL Server - Configuración del servidor</i>	74
<i>Ilustración 42 - Instalación SQL Server - Configuración del motor de base de datos</i>	74
<i>Ilustración 43 - Instalación SQL Server - Configuración de los servicios de análisis</i>	75
<i>Ilustración 44 - Instalación SQL Server - Comprobación de requisitos de instalación</i>	75
<i>Ilustración 45 - Instalación SQL Server - Resumen pre-instalación</i>	76
<i>Ilustración 46 - Instalación SQL Server - Instalación en progreso</i>	76
<i>Ilustración 47 - Instalación SQL Server - Aviso de reinicio necesario post-instalación</i>	77
<i>Ilustración 48 - Instalación SQL Server - Resumen de Instalación</i>	77
<i>Ilustración 49 - Instalación Management Studio - Destino de Instalación</i>	78
<i>Ilustración 50 - Instalación Management Studio - Instalación en proceso</i>	78
<i>Ilustración 51 - Instalación Management Studio - Aviso de reinicio necesario post-instalación</i>	79

<i>Ilustración 52 - Instalación Management Studio - Pantalla de Inicio del software</i>	<i>79</i>
<i>Ilustración 53 - SQL Server - Conexión a la instancia</i>	<i>80</i>
<i>Ilustración 54 - SQL Server - Crear Base de datos nueva</i>	<i>80</i>
<i>Ilustración 55 - SQL Server - Datos de la nueva base de datos</i>	<i>81</i>
<i>Ilustración 56 - SQL Server - Importar Datos</i>	<i>81</i>
<i>Ilustración 57 - SQL Server - Importar datos - Selección de origen</i>	<i>82</i>
<i>Ilustración 58 - SQL Server - Importar datos - Selección de tipo de datos</i>	<i>82</i>
<i>Ilustración 59 - SQL Server - Importar datos - Sugerir tipo de datos</i>	<i>83</i>
<i>Ilustración 60 - SQL Server - Importar datos - Confirmar datos de tipo entero de un solo byte</i>	<i>83</i>
<i>Ilustración 61 - SQL Server - Importar datos - Selección de dato Booleano para el PIR.....</i>	<i>84</i>
<i>Ilustración 62 - SQL Server - Importar datos - Selección del destino de los datos</i>	<i>84</i>
<i>Ilustración 63 - SQL Server - Importar datos - Copiar datos directamente a una base de datos</i>	<i>85</i>
<i>Ilustración 64 - SQL Server - Importar datos - Seleccionar tabla de destino.....</i>	<i>85</i>
<i>Ilustración 65 - SQL Server - Importar datos - Confirmar tipo de datos de la tabla.....</i>	<i>86</i>
<i>Ilustración 66 - SQL Server - Importar datos - Resumen de tablas pre-importación</i>	<i>86</i>
<i>Ilustración 67 - SQL Server - Importar datos - Ejecutar inmediatamente</i>	<i>87</i>
<i>Ilustración 68 - SQL Server - Importar datos - Resumen pre-importación</i>	<i>87</i>
<i>Ilustración 69 - SQL Server - Importar datos - Importación finalizada</i>	<i>88</i>
<i>Ilustración 70 - Circuito para cálculo de consumo</i>	<i>91</i>

Índice de Tablas

Tabla 1 - Consumo de la habitación 38
Tabla 2 - Componentes para el sistema de control 47
Tabla 3 - Costo de los materiales..... 49
Tabla 4 - Costo de la mano de obra 49
Tabla 5 - Costo Total..... 49
Tabla 6 - Identificación de riesgos 52
Tabla 7 - Matriz de Riesgo 52
Tabla 8 - Matriz de Probabilidad, Impacto y severidad..... 52
Tabla 9 - Tabla de contingencias 53
Tabla 10 - Datos formateados..... 90

Abstract

Las construcciones en general son uno de los grandes consumidores energéticos de nuestra sociedad, junto con los transportes y la industria. Este hecho, unido a que a una construcción se le supone un largo periodo de vida, hace que sea muy interesante el invertir en ahorro energético cuando se construye o reforma cualquier vivienda.

El propósito de este proyecto de grado es el de analizar el impacto en el consumo energético que tendría la implementación de un sistema domótico en una vivienda familiar, con el objetivo de colaborar con el cuidado del medio ambiente.

Con el fin de cumplir con este propósito, se instalará un sistema domótico que permitirá realizar dicho análisis de impacto, para que, en base a la información obtenida, se pueda proponer una solución aplicable.

Capítulo 1 Introducción

Descripción del problema

La temperatura del planeta está creciendo a un ritmo alarmante, como lo muestra la Ilustración 1. Tanto las capas de hielos como los glaciares se están derritiendo. Esto provoca, como se observa en la Ilustración 2, que el nivel del mar aumente con el consecuente riesgo para millones de personas. A su vez, los cambios de temperatura, las olas de calor, las inundaciones y las sequías son más pronunciados. Los desiertos avanzan y las fuentes de agua se secan. La frecuencia e intensidad de los huracanes y las tormentas aumentan.

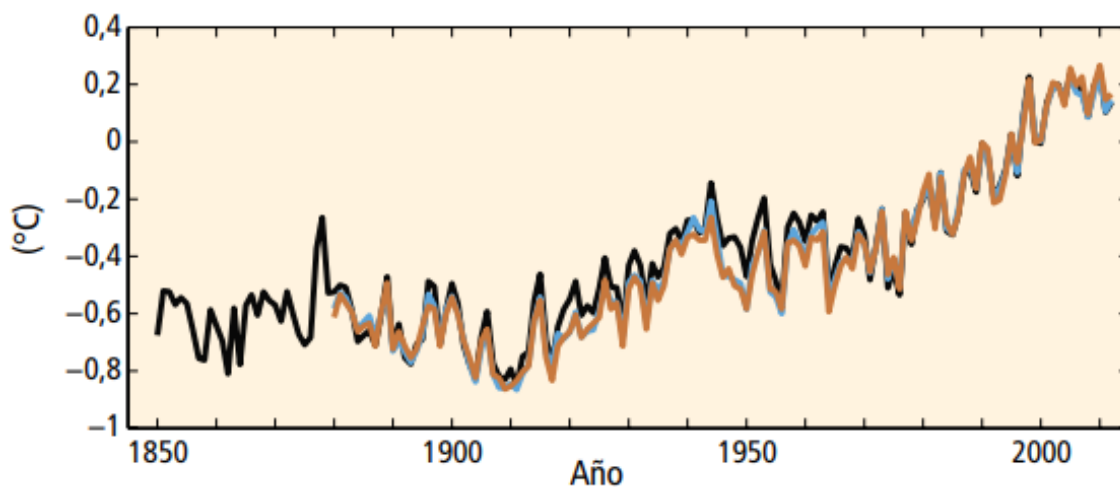


Ilustración 1 - Anomalía del promedio global de temperaturas en superficie, terrestres y oceánicas¹

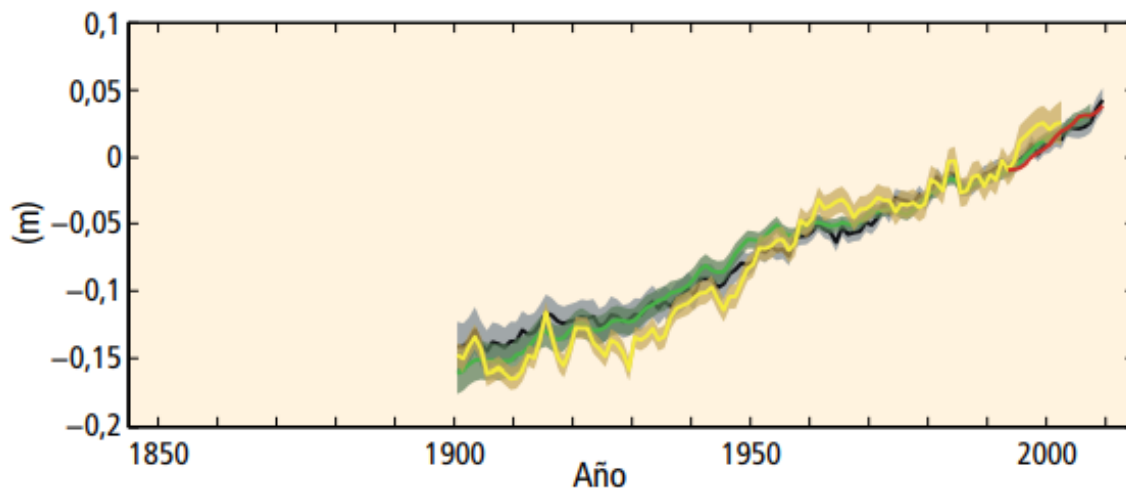


Ilustración 2 - Cambio del nivel del mar promediado a nivel mundial²

Todos estos fenómenos naturales tienen algo en común: son producto del cambio climático generado, principalmente, por la creciente emisión de gases de efecto invernadero (GEI), que puede observarse en la Ilustración 3.

¹ (IPCC, 2014)

² (IPCC, 2014)

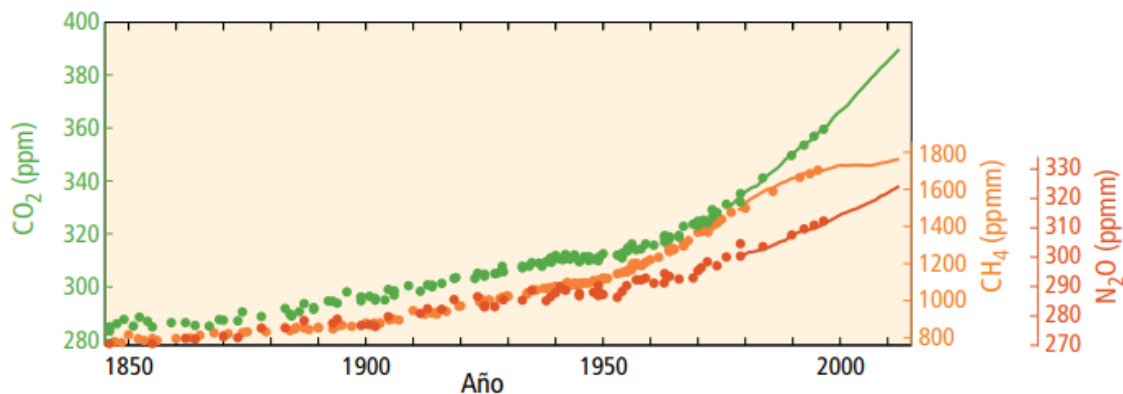


Ilustración 3 - Concentraciones de gases de efecto invernadero promediadas a nivel mundial³

En la Ilustración 4 se puede observar que la gran mayoría de estos gases, son emisiones producidas por la generación de energía eléctrica. Esto se debe a la quema de combustibles fósiles como el carbón, el petróleo y el gas.

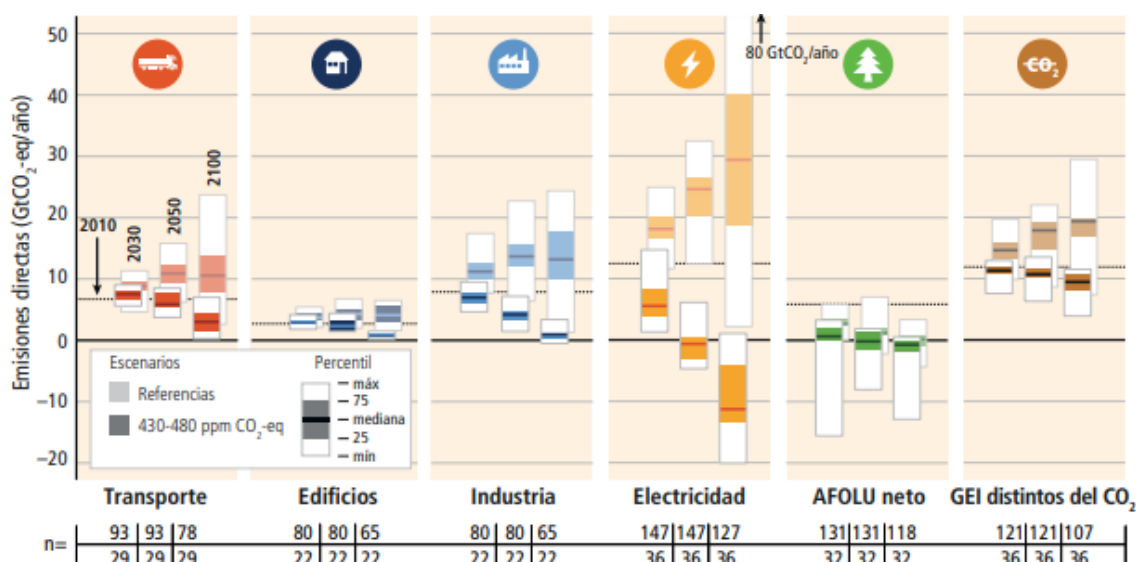


Ilustración 4 - Emisiones directas de CO2 por sectores principales, y emisiones de GEI distintas de CO2, para escenarios de referencia y de mitigación⁴

También se puede observar que de implementarse políticas y planes de mitigación efectivos, es el sector que mayor impacto puede tener en la reducción de gases de efecto invernadero.

La cantidad de energía consumida por la humanidad es enorme y, como se dijo, su generación es la principal responsable del cambio climático y por lo tanto, el mejor candidato para pensar en alternativas para mitigar el impacto. Una de ellas, es disminuyendo el desperdicio de energía. El presente trabajo es una propuesta para analizar el consumo energético

³ (IPCC, 2014)

⁴ (IPCC, 2014)

en una vivienda y en base a ese estudio, proponer una alternativa de solución para que, por medio de la domotica, los hogares puedan colaborar en la minimización del impacto.

Entorno

Este proyecto se desarrollará en una vivienda familiar que no tenga implementado ningún sistema automático que controle el circuito eléctrico y de iluminación, y se elegirá una habitación usada como estudio. La decisión de limitar el estudio a una sola habitación se toma con el fin de llevar a cabo los experimentos necesarios de forma controlada y sin ocasionar daños materiales ni edilicios.

Motivación

El interés por realizar este proyecto surgió de la búsqueda por conseguir un ahorro energético en las viviendas familiares que, llevado a gran escala, conlleva un gran ahorro a nivel mundial modificando tan solo algunas cuestiones básicas en el uso cotidiano de la energía. El hecho, por ejemplo, de que muchas personas dejan las luces encendidas cuando salen de una habitación me llevó a pensar en una solución que dé lugar a una mejora para el medio ambiente.

La Dra. Ing. Beatriz Gallo, docente e investigadora de esta facultad, en su artículo “La formación humanística en el ingeniero”⁵ plantea una realidad y esta se cimienta en que, en la educación del ingeniero se ha obviado durante mucho tiempo el rol humanista que se debe tener en el desarrollo de su profesión. Se sabe que el objetivo del ingeniero es plantear soluciones estructuradas para resolver problemas sistémicos, pero usualmente se olvida que la resolución de estos problemas, debe tener un impacto social.

Este problema no es exclusivo de nuestra provincia o de nuestro país. En su discurso durante el acto de graduación de Harvard del 2007⁶, Bill Gates⁷ plantea una situación similar. Durante su corta carrera en dicha universidad, nunca se le habló sobre las desigualdades existentes en el mundo, y opina que el avance de la humanidad no está en sus descubrimientos, sino en como éstos se aplican a reducir estas desigualdades.

Teniendo en cuenta esto, y sabiendo que las técnicas y herramientas que fueron brindadas por la facultad no deben quedar solo como componentes anecdóticos de la formación, es que decidí aplicarlas a la solución de un problema que puede tener un impacto más allá del ámbito personal, sino que puede tener una implicancia mayor en la sociedad.

⁵ (Parra de Gallo, 2006)

⁶ (Harvard University, 2013)

⁷ Empresario, informático y filántropo estadounidense. Junto a Paul Allen cofundó la empresa de *software* *Microsoft*, productora del sistema operativo para PC más utilizado en el mundo, *Microsoft Windows*

Pasos a seguir

Las actividades que se desarrollarán implican el relevamiento del uso de la energía en una habitación. En esta se instalará un arduino con un conjunto de sensores, que determinen la presencia de personas en el ambiente y el nivel de iluminación. Estos sensores serán los encargados de registrar lo que sucede en el ambiente y enviarlos al Arduino para que recolecte los datos necesarios para el análisis.

Teniendo en cuenta que todo instrumento de medición tiene un nivel de error inherente, y con el fin que esto no afecte los resultados del proyecto, se realizará un análisis de confiabilidad de los sensores. Este análisis será llevado a cabo en el mismo ambiente de estudio, durante 4 horas consecutivas, en un entorno controlado.

Finalmente, se recolectarán los datos obtenidos y se los analizará creando una base de datos, usando *Microsoft SQL Server*, para así calcular el nivel de ahorro que podría conseguirse con la aplicación de domótica.

Capítulo 2 Estado de la cuestión

Antes de comenzar con el desarrollo del trabajo, es importante explicar ciertos conceptos y temas generales que serán de utilidad para la comprensión del presente documento.

Domótica

¿Qué es domótica?

Según el diccionario de la RAE⁸, la domótica es el “conjunto de sistemas que automatizan las diferentes instalaciones de una vivienda”⁹. Proviene del latín domus (casa) y del griego αὐτόματος (automática, “que se gobierna sola”). Este término engloba a todas las soluciones destinadas a automatizar procesos dentro de una vivienda, dentro de los que se destacan servicios para el bienestar, la seguridad, la comunicación, la accesibilidad y la gestión energética.

Un sistema domótico está constituido por una red de información que recoge datos o “estímulos” desde sensores instalados en la vivienda. Procesando adecuadamente esta información y de acuerdo a las configuraciones del sistema, se generan respuestas y órdenes que se envían a los actuadores que son los encargados de llevar a cabo estas tareas automatizadas.

Estos sistemas están interconectados ya sea por redes de comunicación, interiores o exteriores, cableadas o inalámbricas, y su control puede ser centralizado o ubicuo desde dentro y/o fuera de la vivienda.

Dentro de las áreas de aplicación de la domótica, la que mayor impacto económico y ambiental puede tener es la gestión energética. Mediante la incorporación de estos sistemas en una vivienda se pueden gestionar inteligentemente la iluminación, climatización, agua caliente, el riego, los electrodomésticos, entre otros. Al automatizar estas tareas, se conseguirá un ahorro no tan solo eléctrico sino también en el consumo de agua. Se logra así, tanto una reducción de costos como una mejora en el medio ambiente al contribuir en la reducción del impacto que tiene la generación de energía a nivel mundial.

⁸ Real Academia Española. Institución que tiene como misión principal velar por que los cambios que experimente la lengua española en su constante adaptación a las necesidades de sus hablantes no quiebren la esencial unidad que mantiene en todo el ámbito hispánico

⁹ <https://dle.rae.es/dom%C3%B3tico> Página vigente al 12/10/2020

El conjunto de tecnologías que conforman la domótica permiten mejorar el confort de una vivienda además de la seguridad y la eficiencia energética. Sin embargo, en una gran cantidad de situaciones, la comodidad y la eficiencia no son compatibles e incluso, cuando se involucra el costo económico, se verifica una tendencia proporcional: mientras más aumenta el confort, también lo hace el gasto económico. Por todas estas cuestiones, es fundamental el análisis detallado de la necesidad real de automatizar ciertos elementos que favorecen el ahorro energético más que en un incremento en la comodidad, priorizando un mejor uso de la energía.

Historia de la domótica

La domótica se inicia a comienzos de la década del '70, cuando aparecieron los primeros dispositivos de automatización en edificios, a base de prueba piloto. Sin embargo, fue en la década del '80 cuando los sistemas integrados se utilizaron a nivel comercial, para luego desarrollarse en forma doméstica.

Allí es cuando la domótica consigue integrar dos sistemas (el eléctrico y el electrónico) en favor de la comunicación integral de los dispositivos del hogar. El desarrollo de la tecnología informática permite la expansión del sistema, sobre todo en países de vanguardia como Estados Unidos, Alemania y Japón.

Acorde a los cambios, el auge de la informática hogareña permite incorporar en los edificios el Sistema de Cableado Estructurado (SCE), que facilita la conexión de terminales y redes. Así, estos edificios reciben el nombre de “inteligentes”, debido a su automatismo al servicio del propietario.

El primer programa que utilizó la domótica fue Save. Creado en Estados Unidos en 1984, permite lograr eficiencia y bajo consumo de energía en los sistemas de control de edificios inteligentes.

Estas instalaciones regían bajo el sistema X-10, protocolo de comunicaciones que opera a través del accionar de un control remoto. Desarrollado en 1976 por Pico Electronics (Escocia), sigue siendo una de las tecnologías más utilizadas dentro de la domótica. Al transmitir datos por líneas de baja tensión, la relación costo-beneficio sigue siendo la mejor opción en el rubro.

Implantada desde hace más de cuarenta años, la domótica ha progresado a gran escala desde que se desarrollaron las redes informáticas de comunicación, ya sea por sistema cableado o vía Wifi.

El avance tecnológico vino a suplir las falencias de los comienzos, ya que permite integrar de manera eficiente todos los dispositivos tecnológicos de una casa. Con el fin de la década del '80 las tecnológicas, de un comienzo destinadas a fines comerciales, comienzan a llegar a los hogares.

En la actualidad hay una oferta consolidada en torno a los servicios de domótica. Diferentes protocolos de comunicación (como KNX, Modbus o Zigbee) permiten un desarrollo que en un principio era impensado, y dispositivos de toda índole gestionan desde la apertura automática de puertas hasta la presión arterial de algún integrante de la vivienda.

La automatización de la vivienda se hizo mucho más accesible y de uso más masivo con desarrollos Open Source como, por ejemplo, las placas Arduino que, al ser de código y hardware abierto, posibilitan la rápida adopción, aprendizaje e implementación de sistemas de domótica.

Sistemas domóticos

Este proyecto se vale de un sistema domótico, por lo que resulta conveniente estudiar cuáles son las partes que lo conforman a los fines de entender cómo funciona en su totalidad.

Los 4 componentes principales de un sistema domótico son su microcontrolador, sus sensores, sus actuadores y el medio de comunicación entre ellos. En este proyecto se utilizó como microcontrolador el Arduino, descripto en la próxima sección.

En lo que a sensores respecta, se pueden definir como dispositivos que capturan datos del entorno donde estén instalados. En este proyecto se utilizarán sensores de luminosidad, cuya función es traducir la cantidad de iluminación de un ambiente en un dato entendible por Arduino; y sensores de presencia que, por medio de la detección de energía infrarroja, puede determinar si hay personas en el ambiente censado.

Un actuador es aquel dispositivo que ejecuta una acción en el ambiente en el que se encuentra. En la solución propuesta, se recomendará la utilización de relés de estado sólido que permitirán apagar dispositivos eléctricos como luces, monitores, entre otros.

Para comunicar estos componentes existen diversas alternativas, tanto cableadas como inalámbricas. Entre estas últimas las más conocidas son bluetooth, Wifi y radiofrecuencias. Sin embargo, para evitar posibles interferencias, en este proyecto se utilizaron cables UTP de 4 pares trenzados.

Arduino¹⁰

¿Qué es arduino?

Arduino es una plataforma de electrónica de código libre basada en hardware y software fácil de usar. Las placas arduino son capaces de leer datos de entrada (por ejemplo, luz en un sensor, un dedo en un botón, o un mensaje de twitter) y convertirlo en un dato de salida (activar un motor, prender un led, publicar algo online, entre otros).

A través de un conjunto de instrucciones, se puede configurar el microcontrolador que viene integrado en la placa para que haga lo necesario a través de un conjunto de instrucciones. Esto se realiza utilizando el lenguaje de programación Arduino basado en Wiring.¹¹

Arduino fue utilizado en miles de proyectos desde pequeñas aplicaciones hasta complejos instrumentos científicos. Con el paso de los años se formó una comunidad mundial de makers¹² (estudiantes, aficionados, artistas, programadores y profesionales) alrededor de esta plataforma de código libre y sus contribuciones llegaron a una increíble cantidad de conocimiento accesible que puede ser de gran ayuda tanto a novatos como a expertos.

Arduino nació en el Ivrea Interaction Design Institute como una herramienta para prototipado rápido, enfocado a estudiantes sin conocimiento previo en electrónica y programación. En cuanto se masificó en el mundo, se empezaron a desarrollar diversos modelos de placas que se adaptan a nuevas necesidades y desafíos, ampliando su oferta para incluir desde simples placas de 8 bits a productos para aplicaciones del internet de las cosas (IoT), *wearables*¹³, impresión 3D y ambientes embebidos. Todas las placas arduino son completamente de código libre, motivando a los usuarios a construirlas de forma independiente y eventualmente adaptarlas a sus necesidades particulares. El software también es de código libre y está creciendo por medio de las contribuciones de los usuarios a nivel global.

¹⁰ En base a (Arduino, 2018)

¹¹ *Wiring* es una plataforma de prototipado electrónico de código abierto compuesta de un lenguaje de programación, un entorno de desarrollo integrado (IDE) y un microcontrolador. Ha sido desarrollado desde 2003 por Hernando Barragán. A su vez, el software de arduino está basado en *Processing* que es un *software* flexible y un lenguaje para aprender a codificar en el contexto de las artes visuales.

¹² La cultura maker es una cultura o subcultura contemporánea que representa una extensión de la cultura DIY (Do It Yourself o 'Hágalo usted mismo'), basada en la tecnología y en el uso de herramientas de software.

¹³ Aparatos o dispositivos electrónicos que se incorporan en alguna parte del cuerpo interactuando de forma continua con el usuario y con otros dispositivos con la finalidad de realizar alguna función concreta, por ejemplo, relojes inteligentes, zapatillas con GPS o pulseras que controlen el estado de salud

¿Por qué arduino?

Gracias a una experiencia de usuario simple y accesible, Arduino ha sido usada en miles de diferentes proyectos y aplicaciones. El software arduino es fácil de usar para principiantes, pero suficientemente flexible para usuarios avanzados. Funciona en Mac, Windows y Linux. Docentes y estudiantes lo usan para construir instrumentos científicos de bajo costo, para probar principios químicos y físicos, o para empezar con programación y robótica. Diseñadores y arquitectos construyen prototipos interactivos; músicos y artistas usan Arduino para instalaciones y para experimentar con nuevos instrumentos musicales. *Makers*, por supuesto, lo usan para construir varios de los proyectos exhibidos en la *Maker Faire*¹⁴, por ejemplo. Arduino es una herramienta clave para aprender nuevas cosas. Cualquier persona (chicos, aficionados, artistas, programadores) puede empezar a incursionar ya sea simplemente siguiendo unas instrucciones paso a paso de un kit, o compartiendo ideas en línea con otros miembros de la comunidad Arduino.

Hay muchos otros microcontroladores y plataformas disponibles que ofrecen una funcionalidad similar como, por ejemplo, Parallax Basic Stamp, BX-24 de Netmedia, Phidgets, Handyboard del MIT, entre otros. A pesar que todas estas herramientas simplifican en gran medida la programación del microcontrolador y lo presentan en un paquete fácil de usar, Arduino ofrece algunas ventajas sobre otros sistemas para profesores, estudiantes y aficionados interesados:

- Económica: las placas arduino son relativamente baratas comparadas con otras plataformas de microcontroladores.
- Multiplataforma: El software Arduino (IDE) corre en Windows, Macintosh OSX y Linux. La mayoría de los sistemas de microcontroladores están limitados a Windows.
- Ambiente de programación simple y claro: El software Arduino (IDE) es fácil de usar para principiante pero suficientemente flexible para que los usuarios avanzados se beneficien de su uso.
- Permite el uso de otros IDEs, incluyendo algunos donde la interfaz es exclusivamente visual y el conocimiento de código necesario es mínimo.

¹⁴ *Maker Faire* es una muestra familiar que reúne *makers* que van a mostrar sus creaciones y a asistentes que van a vislumbrar el futuro y convertirse en *makers* (Make Community LLC, 2020)

- **Software de código libre y extensible:** El software Arduino es de código libre. El lenguaje puede ser expandido a través de librerías de C++, y las personas que quieran entender los detalles técnicos, pueden hacer un salto desde Arduino al lenguaje de programación AVR-C en el que está basado. De manera similar, se puede agregar código AVR-C directamente en el programa Arduino.
- **Hardware de código libre y extensible:** Los planos de las placas Arduino están publicados bajo la licencia Creative Commons¹⁵, por lo que diseñadores de circuitos experimentados pueden hacer su propia versión del módulo, extendiéndolo y mejorándolo. Incluso usuarios poco experimentados pueden crear una versión del módulo en una protoboard para así entender cómo funciona y ahorrar dinero.

Trabajos relacionados

Existen diversos trabajos relacionados con la domótica, entre ellos se encuentra el trabajo presentado por Loyola¹⁶ en la universidad Cesar Vallejo de Perú, quien hace un análisis más personalizado y específico a la vivienda, donde luego implementa un sistema completo de domótica para controlar el uso de la energía y la apertura de puertas. También está disponible el del español Sanclemente¹⁷ quien involucra distintos sistemas dentro de la vivienda como el de alimentación de agua y su descalcificación y lo implementa a través de un servicio web. Por último, Carral¹⁸ de España busca controlar tanto la eficiencia energética como la seguridad de una vivienda, no obstante, usa PLC¹⁹ en lugar de Arduino.

Sin embargo, ninguno de estos trabajos refleja el ahorro energético real alcanzado con la implementación de sus sistemas domóticos.

¹⁵ Las licencias Creative Commons o CC posibilitan un modelo legal ayudado por herramientas informáticas, para así facilitar la distribución y el uso de contenidos

¹⁶ (Loyola Mendoza, 2018)

¹⁷ (Sanclemente Carretero, 2016)

¹⁸ (Carral Álvaro, 2018)

¹⁹ “*Programmable Logic Controller*” o Controlador Lógico Programable

Tecnologías utilizadas

En la actualidad existen variadas formas de domotizar²⁰ una vivienda. Se podría realizar con sistemas DIY (por sus siglas en ingles “*Do It Yourself*” que significa “hágalo usted mismo”) como los que usan placas Arduino, Raspberry Pi, entre otras y diversos sensores y actuadores. Además, existen sistemas autoinstalables con control de voz e interacción con internet como es el caso de los enchufes inteligentes de TP-Link, o de las lámparas inteligentes HUE de Philips, controlables mediante asistentes virtuales como Alexa de Amazon, Google Home o Siri de Apple.

En este proyecto se utilizará para la recolección de datos un sistema basado en Arduino. Como sensores se utilizarán los de iluminación, de presencia y se recolectarán los datos en una microSD instalada en un shield que incluye el lector de tarjetas microSD y una placa ethernet en caso de querer conectarlo a la red (que no será utilizada en este proyecto).

Para hacer el análisis de los datos recolectados se usará el motor de bases de datos relacionales de *Microsoft*, llamado *SQL Server*.

²⁰ Si bien no es una palabra reconocida por la RAE, este verbo es ampliamente utilizado en internet para referirse a la implementación de un sistema domótico

Capítulo 3 Definición del problema

Definición del problema

Las construcciones en general son uno de los grandes consumidores energéticos de nuestra sociedad, junto con el transporte y la industria.

En la industria y en los comercios, los procesos están optimizados de tal forma para que obtengan el mayor beneficio, por lo que el enfoque en la reducción de costos es vital. En cambio, en las viviendas, las personas no están acostumbradas a pensar en función de la eficiencia, sino en el confort. Esto hace que ese mercado sea el mayor consumidor no solamente por la cantidad de ellas, sino más bien por las costumbres de las personas en cuanto al consumo.

Costumbres como prender el aire acondicionado para calentar de más un ambiente en vez de usar un poco más de abrigo, abrir una heladera sin razón, dejar luces encendidas en ambientes que no están siendo utilizados, o mantener abierta las ventanas perdiendo así el calor dentro de una habitación en invierno; son algunas de las razones que, posiblemente sin notarlo, elevan el consumo energético de las viviendas y colaboran en el aumento de los costos tanto económicos como ambientales.

En este contexto es que se puede decir, que el sector donde mejor se podrán aplicar esfuerzos para mejorar la eficiencia energética es en las viviendas familiares. Este hecho, unido a que a una edificación se le supone un largo periodo de vida, hace que sea muy interesante el invertir en ahorro energético cuando se construye o reforma cualquier vivienda.

En Argentina, el mayor consumidor de energía eléctrica en el mercado minorista es el sector residencial²¹. En el siguiente grafico se puede apreciar que el 43% de la energía demandada en 2019 en Argentina fue consumida por el sector residencial de la población, lo que muestra un gran potencial para la reducción de consumo eléctrico en general.

²¹ (Cammesa, 2019) Página vigente al 12/10/2020

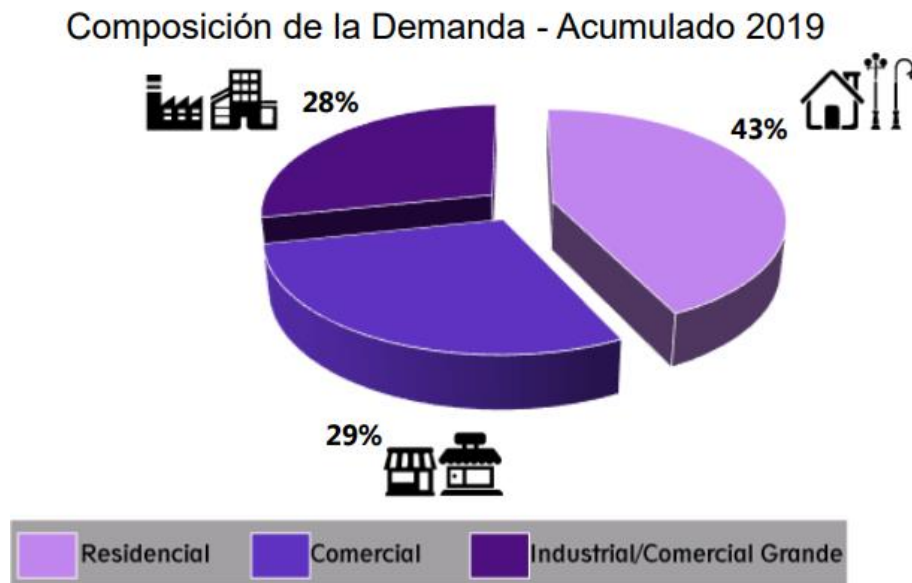


Ilustración 5 - Composición de la demanda²²

Para hacer un análisis más detallado, en primer lugar, se deben identificar los principales consumidores energéticos de una vivienda.

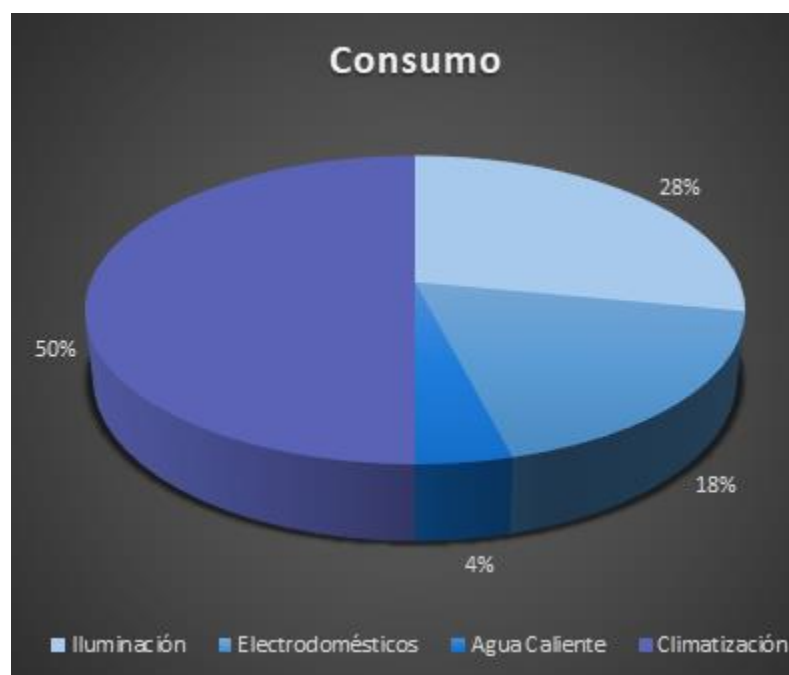


Ilustración 6 - Consumo²³

Como se puede ver en la Ilustración 6 y suponiendo que todos los equipos son eléctricos, los principales consumidores de energía dentro de una vivienda son los equipos de climatización y la iluminación, por lo que podemos alcanzar un mayor ahorro focalizando el análisis en alguno de estos factores.

²² En base a (Cammesa, 2019)

²³ (Ministerio de desarrollo productivo, s.f.)Página vigente al 08/06/2019

En Argentina, durante el mes de abril del año 2020, la producción de energía estuvo distribuida de la siguiente manera:

Detalle por Fuente [GWh]
Generación Local (sin importación)

	TÉRMICA	5 510
	HIDRÁULICA	1 666
	NUCLEAR	975
	RENOVABLE	838
TOTAL		8 989

Renovable incluye: Eólico, Solar, BioGas, BioMasa e Hidráulicas menores a 50 MW

Ilustración 7 - Generación de energía por Fuente²⁴

Esto implica, que la energía de cada vivienda, comercio e industria en Argentina es alimentada en un 61.29% por energías directamente responsables de este cambio climático.

Aprovechando las herramientas brindadas por la carrera, este proyecto pretende colaborar con la reducción del consumo de energía. Esto permitiría mitigar, mínimamente, el impacto del cambio climático.

Objetivos

Objetivo General

El objetivo de este proyecto es proponer una solución que garantice un ahorro en el uso de la energía eléctrica al implementar un sistema de domótica lo que conlleva una ayuda al medioambiente.

Objetivos específicos

- Seleccionar un ambiente de estudio para realizar las pruebas de manera controlada
- Analizar las características físicas y las necesidades del ambiente a relevar

²⁴ El informe de abril es el más actualizado que puede encontrarse a la fecha (23/07/2020) <https://portalweb.cammesa.com/memnet1/Pages/descargas.aspx>

- Analizar los planos de los sistemas eléctricos de la habitación para verificar la ubicación de los elementos instalados
- Diseñar un diagrama para la ubicación del sistema a implementar
- Implementar el sistema para la recolección de los registros de los sensores instalados
- Realizar el análisis de la eficiencia de uso de la energía en el ambiente de estudio.
- Realizar el análisis costo-beneficio y el análisis de riesgos de la solución propuesta
- Establecer el ahorro energético logrado con la implementación del sistema domótico

Criterios de éxito

Se considerará válida la solución propuesta si se consigue un ahorro energético al incluir el sistema domótico mayor al consumo de dicho sistema. Resulta razonable este planteo al tener en cuenta que una disminución en el consumo de energía domiciliario, reduce la demanda general de electricidad, lo que conlleva una mejora al medio ambiente.

Restricciones o límites del trabajo

El desarrollo de este proyecto está exclusivamente abocado al análisis del uso de la energía en una habitación tipo estudio de 12 m² para buscar exclusivamente la reducción del consumo energético, sin tener en cuenta el confort del usuario. Esta decisión fue tomada partiendo de la base que al aumentar el confort, podría disminuir la capacidad de ahorro de energía.

Por ejemplo, es común para un usuario dejar la luz de una habitación encendida al salir, o dejar un ventilador encendido para que un ambiente se mantenga más fresco, pensando que regresará rápidamente. Sin embargo, usualmente esos tiempos se extienden y por lo tanto, durante ese periodo se consume energía innecesariamente.

Además, este proyecto se desarrollará sin usar tecnologías inalámbricas de comunicación ni acceso a internet debido a que no se considerarán cuestiones relacionadas a la seguridad informática, tales como conexiones por parte de intrusos no autorizados o ataques remotos.

Alcance

El proyecto tiene como finalidad el análisis de los datos de uso de una habitación tipo estudio de 12 m² por medio de la implementación de un sistema que funcione de manera autónoma, con el fin recabar la información de sus sensores, En base a esto, analizar qué nivel de mejora se puede ofrecer en la gestión energética proponiendo la implementación de un sistema domótico.

Recursos

Hardware

Para el desarrollo de este proyecto, se utilizarán diversos componentes que permitirán llevar a cabo los objetivos planteados.

El procesamiento y control del sistema se realizará en una placa Arduino Uno (Ilustración 8), elegida por su practicidad y bajo costo. Se le adicionará un shield lector de tarjetas microSD junto con un puerto Ethernet que permitirá la recolección de datos (Ilustración 9). Este shield está diseñado para conectarse sobre la placa Arduino, como se puede observar en la Ilustración 10

- Arduino Uno



Ilustración 8 - Arduino Uno

Arduino Uno es una placa de microcontrolador basada en ATmega328P²⁵. Tiene 14 pines de entrada / salida digital (de los cuales 6 se pueden usar como salidas *PWM*²⁶), 6 entradas analógicas, un resonador cerámico de 16 MHz, una conexión USB, un conector de alimentación, un conector ICSP y un botón de reinicio. Contiene todo lo necesario para soportar

²⁵ Su hoja de datos puede encontrarse en el siguiente link: http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-7810-Automotive-Microcontrollers-ATmega328P_Datasheet.pdf

²⁶ La modulación por ancho de pulsos (también conocida como PWM, siglas en inglés de pulse-width modulation) de una es una técnica en la que se modifica el ciclo de trabajo de una señal periódica, para transmitir información a través de un canal de comunicaciones.

el microcontrolador; simplemente conéctelo a una computadora con un cable USB o enciéndalo con un adaptador de CA a CC o una batería para comenzar.

En el Anexo 1 se podrá encontrar su diseño de referencia.

- Ethernet Shield



Ilustración 9 – Ethernet Shield

El Arduino Ethernet Shield permite que una placa Arduino se conecte a Internet. Se basa en el chip ethernet Wiznet W5100²⁷ y se conecta a una placa Arduino usando el conector ICSP. Esto mantiene intacta la disposición de los pines y permite apilar otro escudo en la parte superior.

El Ethernet Shield tiene una conexión RJ-45 estándar, y una ranura para tarjeta micro-SD integrada, que se puede utilizar para almacenar archivos para servirlos a través de la red. Es compatible con todas las placas Arduino / Genuino.

En el Anexo 1 se podrá encontrar su diseño de referencia.



Ilustración 10 - Arduino con shield

En lo que a sensores respecta, se contará con sensores de presencia y de luminosidad instalados en la habitación a analizar.

²⁷ Su hoja de datos puede encontrarse en el siguiente link: https://www.wiznet.io/wp-content/uploads/wiznethome/Chip/W5100/Document/W5100_DS_V128E.pdf

- Sensor de presencia



Ilustración 11 - Sensor de presencia (PIR)

Los sensores de presencia, también conocidos como PIR (*Passive infrared sensor*), son sensores electrónicos que miden la intensidad de la luz infrarroja irradiada por los objetos en su campo de visión.

Su componente principal son los sensores piroeléctricos. Se trata de un componente electrónico diseñado para detectar cambios en la radiación infrarroja recibida. La información infrarroja llega al sensor piroeléctrico a través de una lente de fresnell que aumenta el campo visual en sectores.

- Sensor de luminosidad

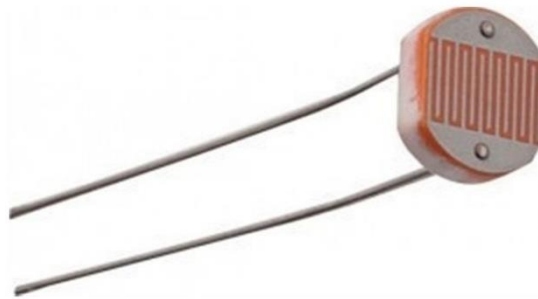


Ilustración 12 - Sensor de luminosidad (LDR)

Los sensores de luminosidad utilizados en este proyecto son los LDR (*light dependent resistor*). Este tipo de sensor es un resistor que varía su valor de resistencia eléctrica dependiendo de la cantidad de luz que incide sobre él. Se le llama, también, fotorresistor o fotorresistencia. El valor de resistencia eléctrica de un LDR es bajo cuando hay luz incidiendo en él y muy alto cuando está a oscuras.

Para interconectar los sensores con la placa arduino, se utilizarán cables estructurados. Se seleccionaron estos cables por su practicidad ya que llevan 4 pares trenzados en cada uno. Debido a que no es necesario transmitir grandes volúmenes de información, la categoría resulta

irrelevante, pudiendo usar cables de menor categoría y así, reducir el costo de implementación. A su vez, por una cuestión de practicidad y facilidad de mantenimiento, cada cable terminará en una caja de red con 2 bocas hembra, donde se conectará el conjunto de sensores de dicho ambiente. Esto también servirá en el caso de necesitar reemplazar los sensores durante su uso.

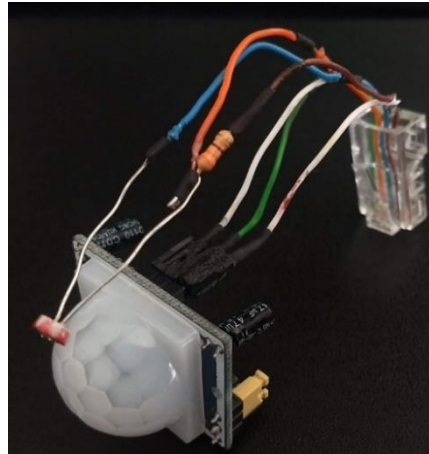


Ilustración 13 - Conexión de sensores

El diagrama del circuito final será el siguiente:

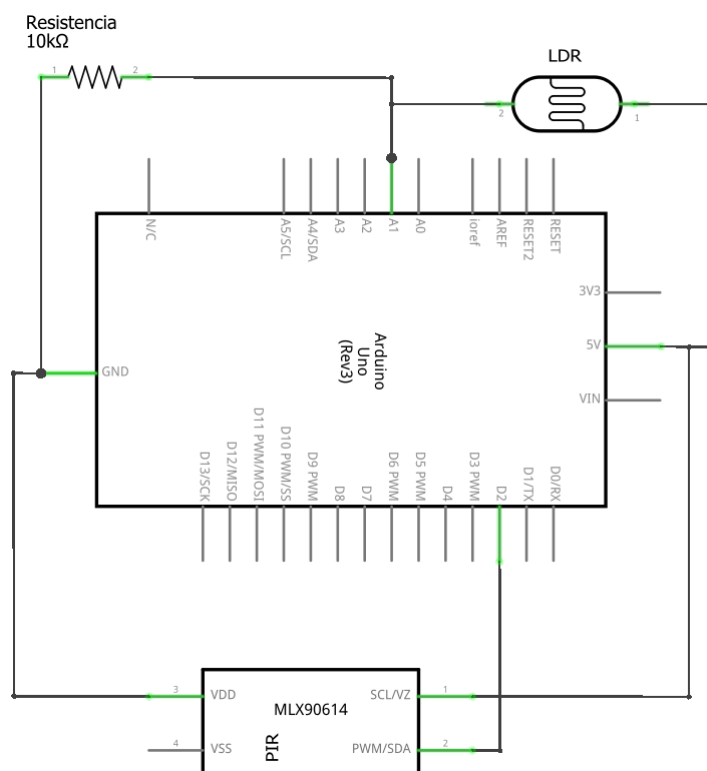


Ilustración 14 - Diagrama del circuito para el análisis

Software

Para el desarrollo de este proyecto, se utilizaron dos *software*. El IDE de arduino, cuya versión actual es la 1.8.13, permitió crear el código de control de la placa y los sensores, y

cargarlo en la placa para su utilización durante la recolección de datos. También fue utilizado, Microsoft SQL Server 2019 como motor de base de datos con el que se llevó a cabo el análisis de los datos entregados por los sensores, tanto en la etapa de testeo de los sensores como en el análisis final de los datos recolectados.

- IDE Arduino

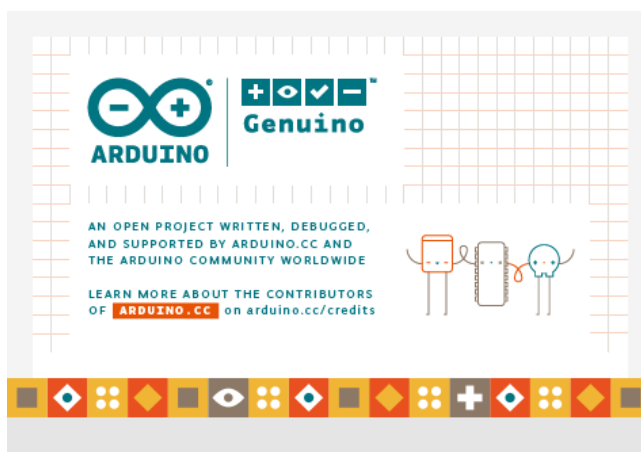


Ilustración 15 - IDE Arduino

El *Software open-source* (de código abierto) de Arduino (IDE) hace fácil escribir código y cargarlo en la placa Arduino. Funciona en *Windows*, *Mac OS X* y *Linux*. El entorno fue escrito en *Java* y basado en *Processing* y otros *softwares open-source*. Puede ser usado con cualquier placa Arduino.

Para más información, como los términos de uso, versiones beta, y para consultar el código fuente, puede visitarse la página oficial²⁸

- Microsoft SQL Server



Ilustración 16 - Microsoft SQL Server

Microsoft SQL Server es un sistema de gestión de base de datos relacional, desarrollado por la empresa Microsoft.

²⁸ <https://www.arduino.cc/en/Main/Software>

El lenguaje de desarrollo utilizado (por línea de comandos o mediante la interfaz gráfica de Management Studio) es Transact-SQL (TSQL), una implementación del estándar ANSI del lenguaje SQL (por sus siglas en inglés Structured Query Language; en español lenguaje de consulta estructurada), utilizado para manipular y recuperar datos (DML), crear tablas y definir relaciones entre ellas (DDL).

Para más información, puede visitarse la página web oficial²⁹ donde Microsoft muestra toda su gama de productos para el análisis de datos.

Alternativas tecnológicas a lo utilizado

Hardware

En la actualidad, el mercado de sistemas domóticos está bastante avanzado y maduro a nivel mundial.

En el mercado industrial, es usual encontrarse con controladores lógicos programables, más conocidos por sus siglas en inglés, PLC. Esto se debe a su naturaleza de ser diseñados y programados exclusivamente para la tarea que tienen que desarrollar, por lo que no tienen muchas opciones de personalización una vez que están hechas.

En el mercado hogareño, en cambio, existen sistemas preconfigurados completos con sensores y actuadores independientes que pueden ser conectados en un sistema principal para domotizar una vivienda. Hay sensores de apertura de puertas o de ventanas, de presencia, de luminosidad, relés, focos inteligentes, enchufes conectados y hasta electrodomésticos smart. La inclusión de asistentes de voz es un gran incentivo para la compra de estos kits ya que brindan un confort inigualable al poder controlar los distintos dispositivos del hogar directamente con la voz.

También existen muchísimas alternativas personalizables y para el mercado DIY con el uso de arduino y otras placas configurables. Este mercado, se caracteriza por ser una comunidad extremadamente enfocada en compartir el conocimiento, por lo que es muy común encontrar todo tipo de desarrollos en foros y páginas especializadas. Las posibilidades son infinitas, y con el suficiente tiempo y motivación, se pueden desarrollar grandes proyectos con la colaboración de aficionados de todo el mundo.

²⁹ <https://www.microsoft.com/es-es/sql-server/>

Dentro de estas posibilidades, la Raspberry Pi, creadas por la Raspberry Foundation³⁰, es una de las más conocidas. Al mantener un formato parecido visualmente a las placas Arduino, son usualmente percibidas como alternativas intercambiables. Sin embargo, son dos productos con diferentes finalidades, aunque por su versatilidad, la imaginación de la comunidad *maker* haya hecho que ambos sean utilizados para crear todo tipo de proyectos de electrónica.

Aunque tanto Arduino como Raspberry Pi son plataformas de código abierto, una de las principales diferencias está en la filosofía respecto al hardware. El hardware de Arduino es también abierto para que cualquiera pueda crear sus propias versiones de la placa, mientras que en el caso de Raspberry Pi, solo la Raspberry Foundation puede fabricarlas.

Arduino tiene otro punto a favor en su facilidad de conectarse con el mundo, gracias a sus entradas tanto analógicas como digitales y lo fácil que resulta activarlas o desactivarlas con su software.

Hablando de software, también hay diferencias en el funcionamiento de las placas. Cuando se enchufa, Arduino ejecuta inmediatamente la tarea programada, mientras que la Raspberry Pi requiere de un sistema operativo completo para poder ser utilizada, por lo que su inicio es un poco más lento.

Esto tiene una repercusión directa en los proyectos de electrónica. Algo tan sencillo como hacer que un LED se encienda o apague es extremadamente sencillo en Arduino, ya que sólo se debe conectar junto a una resistencia y escribir unas pocas líneas de código. Mientras que para hacer lo mismo en una Raspberry Pi, hay que descargar e instalar las librerías para controlar los puertos donde se vaya a conectar, compilar el programa y ejecutarlo.

Por otra parte, ese hecho de tener un sistema operativo y más potencia hace que la Raspberry Pi sea más adecuada para utilizarse como una micro computadora funcional que pueda llevarse a cualquier lado, ya que se le puede conectar teclado y mouse con sus puertos nativos. Además, también puede utilizarse para proyectos algo más complejos que necesitan de sistema operativo y más de potencia, como por ejemplo para crear un centro multimedia.

Software

Para el análisis de datos, se valoraron distintos aspectos como ser la capacidad de procesamiento de grandes cantidades de datos, el uso efectivo de los recursos de hardware

³⁰ <https://www.raspberrypi.org/about/>

disponibles y la velocidad de respuesta en las consultas necesarias. A su vez, se priorizaron aquellas herramientas sobre las cuales ya se tenían conocimiento. Entre las alternativas evaluadas estuvieron las planillas de cálculos como Microsoft Excel o Google Sheets y motores de bases de datos SQL. Debido a la cantidad de datos a analizar (1.732.678 tuplas), resultó totalmente inmanejable el uso de planillas de cálculos ya que, en cada ejecución de alguna operación las planillas se bloqueaban al no usar los recursos de hardware disponibles en su totalidad. Asimismo, el análisis por medio de consultas SQL es ampliamente superior en capacidad y eficiencia. Por estos motivos se eligió SQL Server.

Cabe aclarar que no se consideró el uso de otras herramientas de software, dado que al haber adquirido, durante la formación en la carrera, los conocimientos necesarios para hacer un uso efectivo de la finalmente utilizada, no se creyó necesario incurrir en el uso de una nueva herramienta con la curva de aprendizaje que esto significa.

Capítulo 4 Estudio del consumo energético

Exposición del procedimiento

El presente proyecto supone la implementación de un sistema de recolección de datos con el fin de verificar si un sistema domótico permite ahorrar energía. Para poder comprobar la validez de esta hipótesis, se seleccionará una habitación de una vivienda familiar para realizar dicha instalación. Este ambiente controlado arrojará los datos necesarios para analizar el consumo energético. Luego, en base al análisis realizado, se propondrá una solución para instalar un sistema domótico que contole los circuitos eléctricos de la habitación.

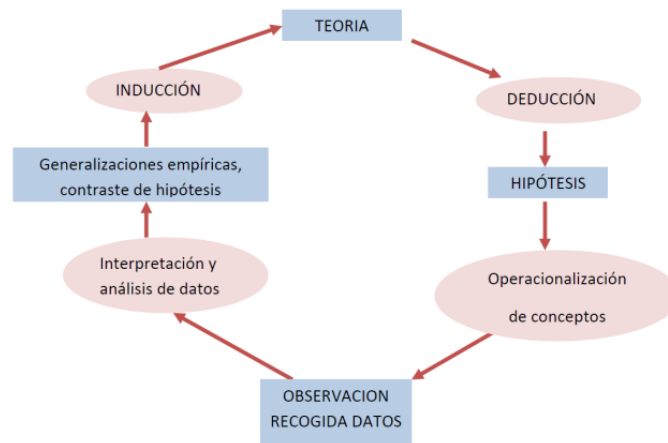
También, se propondrá una generalización de dicho sistema para una vivienda. Esta generalización podrá servir como puntapie inicial para ser aplicada en otras viviendas o complejos habitacionales.

La eficiencia en el consumo se medirá a través de los datos entregados por los sensores a utilizar: uno de presencia (PIR) y uno de luminosidad (LDR) ubicados en el ambiente objeto de estudio. El sensor de presencia detectará si hay una persona en el ambiente. En cambio, con el de luminosidad se medirá el nivel de iluminación. En el caso que el sensor de presencia detecte que el ambiente no está habitado y exista un nivel luminosidad alto (definido por el valor del umbral), se estará ante la situación que se busca reducir.

Metodología

Este proyecto de grado fue desarrollado siguiendo el método científico, cuyo objetivo es brindar un procedimiento de observación sistemática y controlada, mediante el cual podamos alcanzar un conocimiento objetivo de la realidad, tratando de dar respuesta a los interrogantes que surgen acerca de los fenómenos observados.

Para ser científico, un método de investigación debe basarse en la empírica y en la medición, sujeto a los principios específicos de las pruebas de razonamiento. La llamada Rueda de Wallace es la representación circular del modelo y conocimiento científico:

Ilustración 17 - Rueda de Wallace³¹

El método científico está soportado por dos premisas, una es la capacidad de repetir un experimento determinado en cualquier lugar y por cualquier persona (llamada reproducibilidad), y otra, la refutabilidad, que es la susceptibilidad de la proposición científica a ser falsada o refutada (falsacionismo). Esta última implica que, si se replica un experimento diseñado bajo el método científico y este otorga resultados distintos a los predichos, se negaría la hipótesis puesta a prueba

El método científico tiene una serie de etapas que han de seguirse. La designación de las etapas varía según los autores. Sin embargo, lo importante es notar que dicho método es un proceso sistemático de investigación que consta de partes independientes.

Los pasos a seguir o etapas que integran el método científico y han de cumplirse siempre son:

1. **Definición y planteamiento del problema:** Explicita una pregunta para la cual no se encuentra una respuesta. Es necesario que sea resoluble y debe ser formulado en términos adecuados.
2. **Formulación de la hipótesis:** la hipótesis exige una formulación más elaborada con la aparición de las variables y la relación que esperamos encontrar entre ellas. Es la “verdad provisional” o cómo se explica el problema a la luz de lo que se sabe. Las hipótesis se pueden formular como objetivos o resultados que se quieren conseguir. Para aceptar o rechazar la hipótesis (o conseguir el objetivo) se elige un determinado diseño de estudio.

³¹ (Castal, 2014)

3. **Recogida y análisis de datos:** comprobación empírica tras recogida de datos. Es la etapa más específica de cada técnica concreta del método científico.
4. Confrontación de los datos con la hipótesis
5. **Conclusiones y generalización de los resultados:** Si los datos avalan la hipótesis, será confirmada. En caso contrario se concluirá que en las circunstancias contempladas la hipótesis no ha sido confirmada y/o se volverá a la segunda etapa proponiendo una nueva y coherente solución al problema.
6. **Nuevas predicciones:** esta etapa es añadida por algunos autores y hace referencia a nuevos problemas que surgirían de los resultados obtenidos.

Descrito de otra manera, se puede decir que el método científico comienza con una etapa de observación, donde se toma contacto con el fenómeno que describe el problema y se conocen características básicas que causan que el científico continúe buscando alguna respuesta sobre el fenómeno.

El método continúa con una etapa de formulación de una hipótesis que, basándose en las investigaciones previas y en los datos a recolectar, podría ser demostrada.

Por último, la etapa de comprobación utiliza la experimentación y el control de variables para verificar si se comprueba la hipótesis. Si es así, se genera una teoría en base a las conclusiones y en caso de no poder comprobarla, se reformula o descarta la hipótesis.

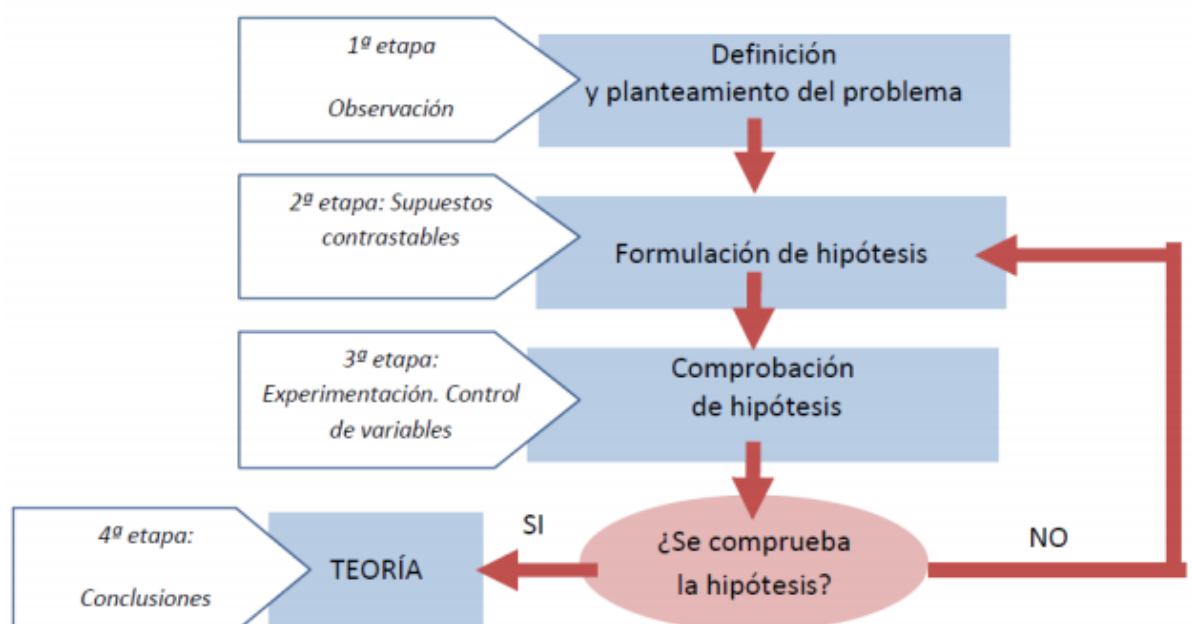


Ilustración 18 - Método Científico³²

Los distintos pasos del método científico fueron aplicados de la siguiente manera:

1. **Definición y planteamiento del problema:** Las viviendas familiares son los mayores consumidores de energía, ¿Es posible ahorrar energía aplicando domótica?
2. **Formulación de la hipótesis:** Se puede ahorrar energía en una habitación de estudio al implementar un sistema domótico que controle parte del circuito eléctrico de dicha habitación
3. **Comprobación de hipótesis:** Para poder llevar a cabo una comprobación de la hipótesis fue necesario la recolección y análisis de datos, para esto se utilizó un sistema domótico basado en arduino y el motor de bases de datos Microsoft SQL Server. Con ellos se relevó el comportamiento de la habitación estudiada y se obtuvo información que permitió alcanzar conclusiones con respecto a la hipótesis.
4. **Conclusiones:** Las conclusiones de este proyecto de grado pueden verse en el Capítulo 6.

³² (Castal, 2014)

Trabajo Realizado

Como ambiente para realizar análisis, se seleccionó una habitación que podía ser controlada dentro de la vivienda para poder estudiar el consumo. Esta habitación fue seleccionada dado que se observó que es en la que los usuarios tenían un comportamiento más errático y no dependiente del horario. Se consideró el comedor como un posible candidato, pero se advirtió que la utilización de la energía en dicho ambiente se limitaba mayormente a los horarios de almuerzo y cena, por lo que se decidió que no fuese usado como ambiente de estudio ya que no parecía ser el candidato con mayor potencial de mejora.

En la habitación de estudio se encuentran conectados a la red eléctrica un ventilador de techo con 4 luminarias, y un estabilizador con un teléfono fax, una computadora con su monitor y una impresora. No todos ellos son factibles de apagar sin causar perjuicio: esto ocurre con la computadora y el fax. Si se apaga la computadora se pueden perder archivos que no estén guardados. En cambio, en el caso del fax, cuando vuelve a recibir energía se prende automáticamente y puede romperse si hay cortes consecutivos. Sin embargo, la impresora, al no encenderse sola, no tendría este problema. Por lo tanto, son factibles de apagar, sin causar perjuicio, el ventilador, las luces, el monitor y la impresora.

Estos dispositivos tienen un consumo eléctrico según lo describe la siguiente tabla³³:

Cant.	Descripción	Consumo unitario	Consumo total
4	luminarias	60W	240W
1	ventilador de techo	60W	60W
1	monitor led 19"	22W	22W
1	impresora chorro de tinta (en reposo) ³⁴	2,3W	2,3W

Tabla 1 - Consumo de la habitación

Según esta tabla, y asumiendo que todo esté encendido, el consumo total de los dispositivos que se pueden apagar es de 324,3W.

Para poder definir si el ahorro energético de la solución propuesta tiene un impacto económico, es necesario conocer el costo de la energía eléctrica.

En el caso de la habitación de estudio, ésta forma parte de una vivienda que consume más de 192kWh y menos de 500kWh al mes, lo que la categoriza en la tarifa T1R2 del cuadro

³³ (Ministerio de desarrollo productivo, s.f.)

³⁴ (Epson America, Inc., 2016)

tarifario³⁵ del proveedor de energía eléctrica de la provincia. Dado que lo que la solución busca reducir es el consumo eléctrico, se tomará como costo relevante para el estudio el cargo variable, cuyo valor es 4,2763\$/kWh

El diseño de la habitación de estudio se puede apreciar en la Ilustración 19, junto con el plano del circuito eléctrico en la Ilustración 20.

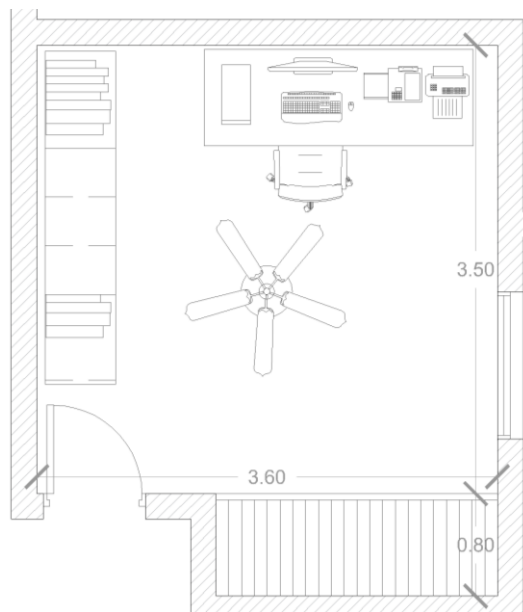


Ilustración 19 - Plano de arquitectura³⁶

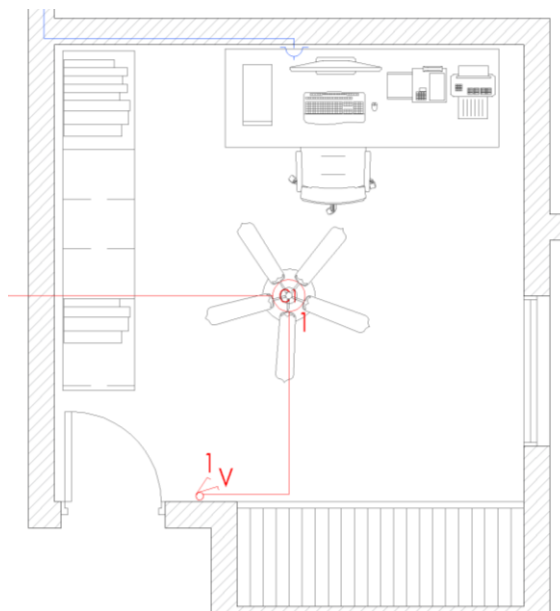


Ilustración 20 - Plano Eléctrico³⁷

Teniendo en cuenta los planos presentados en la Ilustración 19 y en la Ilustración 20, y el diagrama del circuito de la Ilustración 14, la instalación de los componentes del sistema se

³⁵ (EDESA, 2020)Página vigente al 23/7/2020

³⁶ Ilustración de elaboración propia

³⁷ Ilustración de elaboración propia

realizó según lo descrito en la Ilustración 21, donde la posición 1 corresponde al arduino y la 2, al conjunto de sensores.

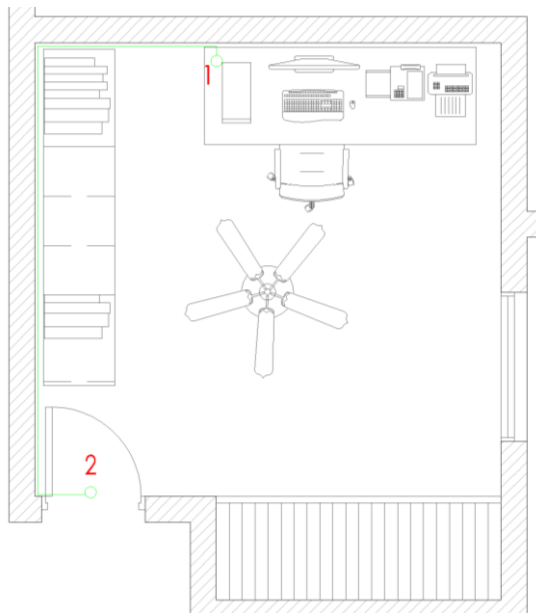


Ilustración 21 - Disposición del sistema para el análisis de datos³⁸

Para lograr una instalación más prolija y ordenada, cada conjunto de sensores (LDR y PIR) fue armado en una ficha RJ-45y ésta fue conectada con la placa arduino a través de los cables UTP. Dicha conexión se puede observar en la Ilustración 13

Una vez instalados los componentes, se cargó en el arduino el código de control del sistema para analizar el uso del ambiente. Para mayor detalle, en el Anexo 2 se incluye todo el código fuente.

A continuación, se explicarán algunas partes del código utilizado para mayor claridad:

```
const short LO = 1000, LL = 15, LC = 10;
```

Estas constantes representan las resistencias de los LDR a la oscuridad (LO), a la luz (LL) y una constante de calibración (LC). Tanto LO como LL vienen especificadas por el fabricante, LC se usa para calibrar la resistencia en el ambiente a usarse. En el Anexo 3 puede encontrarse información más detallada acerca del funcionamiento de los LDR y estas tres variables.

³⁸ Ilustración de elaboración propia

Matemáticamente, la relación entre la iluminancia y la resistencia de una LDR sigue una función potencial, Frecuentemente las gráficas que relacionan ambos valores se representan en escalas logarítmicas para ambos ejes (como puede observarse en el Anexo 3) y, es bajo esta representación, que la relación se muestra como una gráfica lineal, de ahí surge la siguiente fórmula para calcular el nivel de iluminación:

$$\text{Val1} = ((\text{long})\text{ValInt} * \text{LO} * 10) / ((\text{long})\text{LL} * \text{LC} * (1024 - \text{ValInt}));$$

Para evaluar la confianza en el sensor PIR y el umbral para el sensor LDR, se llevó a cabo una prueba en un ambiente controlado durante 4 horas, entre las 18:00 y las 22:00. Esto permitirá evaluar el ambiente en cualquiera de las 4 combinaciones entre los sensores.

Cabe aclarar que el análisis se enfocó exclusivamente en un horario vespertino dado que en este período se produce el pico de consumo de energía eléctrica en una vivienda.³⁹

Para el PIR, se evaluó la sensibilidad y la especificidad. Estas pruebas determinan el nivel de falsos positivos y falsos negativos del sensor. La sensibilidad indica la capacidad de sensor de detectar efectivamente cuando existe presencia en el ambiente, y la especificidad indica la capacidad de no detectar presencia cuando efectivamente es así.

Para mostrar cómo se calcularon estos valores, se definirán 4 Siglas. VP serán los verdaderos positivos, VN los verdaderos negativos, FP falsos positivos y FN falsos negativos. Las pruebas arrojaron resultados siguiendo las siguientes fórmulas:

$$\text{Especificidad} = \frac{VN}{VN + FP}$$

$$\text{Sensibilidad} = \frac{VP}{VP + FN}$$

³⁹ (La Gaceta Salta, 2018)

Estas pruebas pueden visualizarse mejor en la Ilustración 22, donde se muestra en forma gráfica la representación de cada uno de los posibles valores obtenibles y su relación en función del conjunto total de datos del estudio.

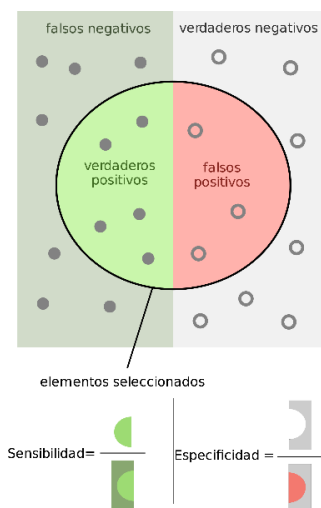


Ilustración 22 - Sensibilidad y Especificidad⁴⁰

Para realizar este estudio, era necesario que el ambiente cuente con variables conocidas, por lo que fue controlado de la siguiente manera. La primera hora se realizó con el ambiente sin habitar y con las luces apagadas, la segunda hora con el ambiente habitado y las luces apagadas, luego ambiente habitado y luces encendidas y por último el ambiente deshabitado y las luces encendidas.

Estas pruebas permitieron evaluar tanto el valor del umbral que se utilizó para decidir si una luz está encendida o no, tomando como base el nivel de iluminación que informa el LDR, como el grado de certeza del sensor PIR (analizando sensibilidad y especificidad), indicando el grado de confiabilidad del análisis final.

Para obtener esta información, lo primero que se realizó fue importar los datos obtenidos por los sensores durante el periodo de prueba. Para esto, primero se completó el procedimiento de importación y formateo de los datos, descripto en el Anexo 6

El código que analizó los sensores de la habitación, devolvió un archivo de texto con información estructurada de la siguiente manera:

⁴⁰ Gráfico modificado en base a (FeaDoe, 2018)

Los primeros 4 números representan el día, la hora, minuto y segundo desde que empezó la prueba; los símbolos \$ y #, los valores de luminosidad del LDR y los del PIR, respectivamente.

```
0; 0; 0; 0; $; #  
0; 0; 0; 1; $; #  
0; 0; 0; 2; $; #
```

Una vez obtenidos los datos en su formato final, para poder evaluar su fiabilidad se analizó los datos de las 4 etapas del estudio, por lo que primero hubo que buscar el punto de corte entre estas etapas. Se supo que los horarios dispuestos en el diseño de la prueba, fueron respetados. Sin embargo, pudieron haber diferencias de algunos segundos entre el horario establecido y el cambio real de etapas por lo que, para hacer este corte, se tomó como válido el momento más cercano al horario de corte en que el sensor cambia de valor, según cual corresponda.

Los periodos entonces quedaron definidos de la siguiente manera:

- Periodo 1 entre 1 y 3517, ambos inclusive
- Periodo 2 entre 3518 y 7004, ambos inclusive
- Periodo 3 entre 7005 y 10515, ambos inclusive
- Periodo 4 entre 10516 y 14038, ambos inclusive

Para calcular la sensibilidad del sensor, se tuvieron en cuenta los periodos 2 y 3, ya que son los que se caracterizan por tener presencia de personas en el ambiente de manera constante.

Para esto se usaron las siguientes consultas SQL:

```
SELECT COUNT(PIR) 'VP'  
FROM [tesis].[dbo].[Validacion]  
WHERE PIR=1 and ID>3517 and ID<10516
```

Esta consulta devolvió un valor de 5206 que corresponden a la cantidad de Verdaderos Positivos.

```
SELECT COUNT(PIR) 'FN'  
FROM [tesis].[dbo].[Validacion]  
WHERE PIR=0 and ID>3517 and ID<10516
```

Con esta consulta se obtuvieron 1792 Falsos Negativos.

$$\text{Sensibilidad} = \frac{5206}{5206 + 1792}$$

Esto muestra que en estas condiciones y durante este periodo de tiempo, el sensor PIR, tiene una sensibilidad del 74,39%.

Para calcular la especificidad del sensor, se utilizaron el primero y el último de los periodos de estudio, ya que al garantizar que no hubo nadie en esa habitación durante el periodo de prueba, el sensor no debía activarse. Para esto, se obtuvo la cantidad de veces que se activó el sensor y la cantidad de veces que no lo hizo. Para esto se usaron las siguientes consultas SQL:

```
SELECT COUNT(PIR) 'VN'  
FROM [tesis].[dbo].[Validacion]  
WHERE PIR=0 and (ID<3518 or ID>10515)
```

Se obtuvieron 7040 Verdaderos negativos.

```
SELECT COUNT(PIR) 'FP'  
FROM [tesis].[dbo].[Validacion]  
WHERE PIR=1 and (ID<3518 or ID>10515)
```

Esta consulta devolvió 0 como Falsos Positivos.

$$\text{Especificidad} = \frac{7040}{7040 + 0}$$

Esto muestra que, en estas condiciones y durante este periodo de tiempo, el sensor PIR, no tuvo Falsos Positivos, por lo que su especificidad es del 100%.

Se puede determinar entonces, que el sensor PIR cuenta con una sensibilidad del 74,39% y una especificidad del 100%.

Este test también fue diseñado para saber cuál es el grado de iluminación mínimo que detecta el LDR cuando las luces de la habitación están encendidas. Para conocerlo, se obtuvo el valor mínimo del PIR en los periodos 3 y 4, ya que los valores de iluminación en otros periodos son ajenos a la iluminación de la habitación. Para llevar a cabo esto, se usó la siguiente consulta SQL:

```
SELECT MIN(LDR) 'Umbral'  
FROM [tesis].[dbo].[Validacion]  
WHERE ID>7004
```

Esta consulta devuelve como resultado **49**, número que fue utilizado como punto de corte o umbral para el análisis de uso de la habitación.

Una vez obtenidos la sensibilidad y la especificidad del PIR y el umbral del LDR, el sistema fue reiniciado y continuó funcionando durante un periodo de 30 días ininterrumpidos para obtener los datos que fueron analizados a posteriori. Estos datos son los que permitieron obtener conclusiones en cuanto a la efectividad de la implementación del sistema.

Luego de 30 días el sistema fue desconectado y la información almacenada en la SD fue importada y formateada en otra base de datos dentro del motor Microsoft SLQ Server siguiendo el procedimiento explicado en el Anexo 6. Este análisis permitió detectar cuál es el nivel de ahorro alcanzable por la implementación de domótica.

Con la información formateada de esta manera, ya fue posible hacer el análisis del consumo haciendo uso de la siguiente sentencia SQL:

```
SELECT SUM(duracion)  
FROM [tesis].[dbo].[Consumo]  
WHERE PIR = 0 and LDR > 48
```

Esta consulta sumó los datos de la columna duración que está expresada en segundos, teniendo en cuenta solamente los momentos donde los sensores no detectaron presencia en el ambiente y la iluminación estaba por encima del umbral definido en las pruebas anteriores. Este dato muestra la cantidad de segundos donde la luz estuvo innecesariamente encendida durante el periodo de prueba.

Sería bueno tener también la duración, en segundos, del estudio en su totalidad. Este dato se obtuvo con la siguiente consulta SQL:

```
SELECT SUM(duracion)
FROM [tesis].[dbo].[Consumo]
```

Con estos datos obtenidos, solo queda multiplicar esta cantidad de horas por el consumo de la habitación, restarle el consumo propio del sistema y así se obtendrá el ahorro potencial alcanzable en el periodo de prueba.

Resultados obtenidos

Durante dos semanas se evaluó el comportamiento dentro de la habitación con los sensores de presencia e iluminación. Habiendo aplicado el procedimiento explicado en este capítulo se pudo obtener que durante el periodo analizado y con un 74,39% de certeza, hubo un total de 364.866 segundos (alrededor de unas 101 horas) en los cuales se pudo observar que la iluminación estaba encendida sin haber personas en la habitación. Esto equivale a un valor aproximado del 14,07% del tiempo del estudio desperdiciando energía, solo resta conocer el consumo propio del sistema domotico y de ser menor al ahorrado, se confirmaría la hipótesis planteada.

Dado que el sistema usado en este capítulo tiene como fin la recolección de datos, en el siguiente capítulo se analizará el consumo energetico del sistema domotico propuesto

Capítulo 5 Solución propuesta

Solución Propuesta

Con el objetivo de reducir el consumo energético y obtener un ahorro tanto en el consumo como en lo económico, se sugiere instalar un sistema domótico con los siguientes componentes:

Cant.	Descripción
1	Arduino Nano
1	Sensor de Presencia (PIR)
1	Sensor de luminosidad (LDR)
1	Resistencia p/LDR
2	Relé de estado sólido
1	Botón
6	Cable Estructurado x mt.

Tabla 2 - Componentes para el sistema de control

Se propone en este caso el uso de un Arduino Nano principalmente porque tiene un consumo mucho menor⁴¹ al de las demás placas arduino, sin sacrificar en conectividad para los sensores y actuadores. Además, gracias a su pequeño tamaño, brindará mayor flexibilidad en cuanto al lugar a ocupar a la hora de ser instalado.

Para poder hacer un análisis correcto del ahorro definitivo que se obtendría implementando este sistema, se deben conocer no solo el consumo inherente de la placa arduino, sino también el que tiene el sistema completo mientras está en funcionamiento con los sensores y actuadores conectados. Para obtener esta información, se usará el procedimiento detallado en el Anexo 7.

Siguiendo este procedimiento, se pudo constatar que el consumo del sistema en funcionamiento es de 42 mA que, multiplicado por el voltaje de entrada (5V) y contemplando que estará operativo las 24hs, equivale a un consumo diario de 0,00504kWh.

Esta información permite realizar finalmente el cálculo del ahorro energético al implementar el sistema. Con la información que se expuso en la Tabla 1 se sabe que el consumo de la habitación es de 324,3W, o lo que es equivalente a 0,3243 kWh por cada hora que estos dispositivos están encendidos.

⁴¹ (Prometec, s.f.)

Gracias al análisis realizado, se supo que existe un tiempo promedio de 3,38 horas al día donde los dispositivos están encendidos sin la presencia de una persona.

Con esta información ya se puede calcular el ahorro diario potencial de energía en esta habitación. Este cálculo se realizará utilizando la fórmula siguiente, sabiendo que ADP es el ahorro diario potencial, HD las horas desperdiciadas, CH el consumo de la habitación y CDS el consumo diario del sistema

$$ADP = (HD * CH) - (CDS)$$

Con los datos obtenidos, quedaría:

$$ADP = (3,38 * 0.3243) - (0.00504)$$

Con esto se puede concluir entonces que el ahorro neto de energía en esta habitación en el periodo de estudio de 30 días fue de 32,73kW.

Evaluación económica financiera de la solución propuesta

Costo de los materiales

Cant.	Descripción	P. Unit.	P. Total
1	Arduino Nano	\$ 750,00	\$ 750,00
1	Sensor de Presencia (PIR)	\$ 200,00	\$ 200,00
1	Sensor de luminosidad (LDR)	\$ 40,00	\$ 40,00
1	Resistencia p/LDR	\$ 5,00	\$ 5,00
2	Relé de estado sólido	\$ 269,00	\$ 538,00
1	Botón	\$ 30,00	\$ 30,00
6	Cable Estructurado x mt.	\$ 40,00	\$ 240,00
		TOTAL	\$ 1.803,00

Tabla 3 - Costo de los materiales

Costo de la mano de obra

Cant.	Descripción	P. Unit.	P. Total
40	Horas de desarrollo ⁴²	\$ 320,00	\$ 12800,00
5	Horas de Instalación y puesta a punto ⁴³	\$ 200,00	\$ 1000,00
		TOTAL	\$ 13.800,00

Tabla 4 - Costo de la mano de obra

Costo total

Descripción	Costo
Materiales	\$ 1.803,00
Mano de obra	\$ 13.800,00
Total	\$ 15.603,00

Tabla 5 - Costo Total

Si bien los costos parecen elevados, debe tenerse en cuenta que el desarrollo, una vez terminado, puede implementarse en múltiples lugares sin tener que hacerle grandes modificaciones, por lo que se considerará como un costo fijo.

Como costo variable de la implementación, se tomará entonces el costo de los materiales y de la instalación y puesta a punto; y serán estos los utilizados para el cálculo del retorno de inversión del sistema.

El retorno de inversión se define como la ganancia neta, sobre el costo del sistema. Para conocer este valor, en el caso de este proyecto, deberá tenerse en cuenta que este sistema obtiene ahorros mensuales en la factura de la energía en base al tiempo que esté instalado. Por esto,

⁴² Honorario en base al costo por hora de un Desarrollador de Aplicaciones obtenido de (COPAIPA, 2020)

⁴³ Honorario en base al costo por hora de un Técnico Hardware obtenido de (COPAIPA, 2020)

para calcular el retorno, se deberá usar una ecuación buscando que el retorno sea mayor a 0, para averiguar a partir de qué mes el sistema empieza a generar ganancias.

Entonces, sabiendo que AO es el ahorro obtenido durante el periodo de prueba, MI los meses implementados y CVI el costo variable de implementación, la ecuación a utilizar será la siguiente:

$$Retorno = \frac{(AO * MI) - CVI}{CVI}$$

Teniendo la formula particular para el caso puntual de este proyecto, y tomando como referencia los valores resultantes del análisis, se puede calcular este tiempo en base a esta inecuación:

$$0 < \frac{(32,73 * MI) - 2803}{2803}$$

Como resultado, se puede concluir que a partir del mes 86, el sistema recuperó la inversión y empieza a generar ahorro real para el usuario. Debe tenerse en cuenta que este cálculo debe ser tomado a modo referencial, ya que se basa en lo analizado en este proyecto. También los resultados finales pueden variar ya que se verán influenciados por factores como el comportamiento humano y el cambio en el costo de la energía eléctrica.

En este punto, es bueno recalcar que el proyecto está enfocado en el impacto ambiental más que en el ahorro económico. Además, en el caso de domotizar más ambientes de la vivienda, el retorno de inversión podría tener un plazo menor.

Gestión del riesgo

La gestión del riesgo en este proyecto se realizará tomando como base **La Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos**⁴⁴ (del inglés A Guide to the Project Management Body of Knowledge o PMBOK por sus siglas) publicada por el Instituto para la dirección de proyectos (del inglés Project Management Institute o PMI por sus siglas). En este libro se presentan estándares, pautas y normas para la gestión de proyectos.

Para dicha gestión, se utilizará la siguiente metodología: Identificación de riesgos, evaluación de riesgos y el plan de respuesta a riesgos, como se observa en la siguiente imagen:



Ilustración 23 - Gestión del riesgo⁴⁵

Para la identificación de riesgos se determina la probabilidad de ocurrencia y el impacto que podría representar en caso de ocurrir. Se emplea el concepto RBS (Risk Breakdown Structure), que es una representación jerárquica de los riesgos, desde los niveles más altos a los más bajos. Esta representación permite identificar a los riesgos según una categoría.

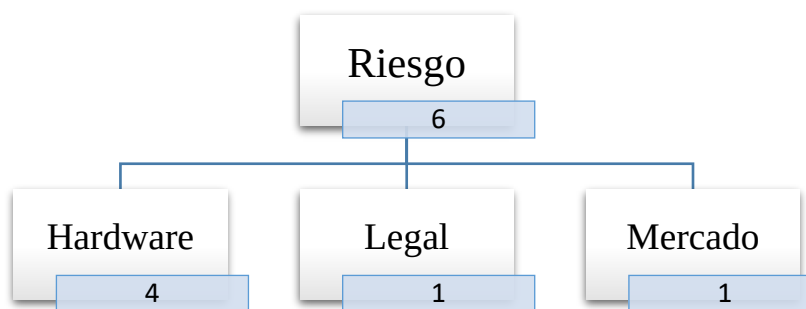


Ilustración 24 - Risk Breakdown Structure⁴⁶

⁴⁴ (Project Management Institute, 2013)

⁴⁵ Ilustración de elaboración propia

⁴⁶ Ilustración de elaboración propia

A continuación, se listan los riesgos identificados:

ITEM	CATEGORIA	RIESGO	NOMENCLATURA
1	Hardware	Falla del arduino	HW1
2	Hardware	Falla de la energía al arduino	HW2
3	Hardware	Falla de algún sensor	HW3
4	Hardware	Falla de algún relé	HW4
5	Legal	Arduino deje de ser open source	LG1
6	Mercado	Cierre de importaciones	MC1

Tabla 6 - Identificación de riesgos

Una vez identificados los riesgos, se podrá desarrollar un análisis para determinar su impacto de acuerdo con una probabilidad de ocurrencia. También se calculará el valor de severidad de dicho riesgo con la siguiente formula:

$$\text{Severidad} = \text{Probabilidad} + \text{Impacto} - (\text{Probabilidad} * \text{Impacto})$$

El cálculo de los valores de severidad puede verse reflejado en la Tabla 7, y el análisis de los riesgos de la solución en función de su severidad, en la Tabla 8.

PROBABILIDAD	1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	0,9	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	1,00
	0,8	0,82	0,84	0,86	0,88	0,90	0,92	0,94	0,96	0,98	1,00
	0,7	0,73	0,76	0,79	0,82	0,85	0,88	0,91	0,94	0,97	1,00
	0,6	0,64	0,68	0,72	0,76	0,80	0,84	0,88	0,92	0,96	1,00
	0,5	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	1,00
	0,4	0,46	0,52	0,58	0,64	0,70	0,76	0,82	0,88	0,94	1,00
	0,3	0,37	0,44	0,51	0,58	0,65	0,72	0,79	0,86	0,93	1,00
	0,2	0,28	0,36	0,44	0,52	0,60	0,68	0,76	0,84	0,92	1,00
	0,1	0,19	0,28	0,37	0,46	0,55	0,64	0,73	0,82	0,91	1,00
		0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
IMPACTO											

Tabla 7 - Matriz de Riesgo

NOMENCLATURA	IMPACTO	PROBABILIDAD	SEVERIDAD
HW1	1	0,1	1
HW2	1	0,1	1
HW3	0,5	0,3	0,65
HW4	0,5	0,3	0,65
LG1	0,3	0,7	0,79
MC1	0,3	0,3	0,51

Tabla 8 - Matriz de Probabilidad, Impacto y severidad

Tomando como referencias las tablas anteriores, se puede determinar cuáles son los riesgos para los cuales es necesario establecer un plan de respuesta. Para los riesgos de baja severidad (verdes) no se realizará un plan de acción, pero se los mantendrá monitoreados. En el caso de los de media severidad (amarillos) quedarán a consideración del evaluador. Para los riesgos de alta severidad se elaborará un plan de respuesta en caso que ocurran.

Existen varias formas de mitigar o responder a los riesgos. Para cada uno se elaboró el plan más eficaz y cuyas acciones no generen un mayor gasto de tiempo.

Se muestra en la siguiente tabla el plan para los riesgos cuya incertidumbre requiere una planificación de respuesta.

RIESGO	PLAN DE CONTINGENCIA	TIEMPO DE RESPUESTA
HW1	✓ Contar con un arduino con el programa ya cargado para hacer un reemplazo directo en caso de falla	1 hora
HW2	✓ Contar con un cargador y cable extra para reemplazar	15 minutos
HW3	✓ Contar con un conjunto de sensores de reemplazo armado ✓ Los LDR deben ser calibrados, ya que cada uno cuenta con un valor de resistencia de calibración que deberá ser reprogramada en el código arduino.	1 hora
HW4	✓ Tener un relé de reemplazo	15 minutos

Tabla 9 - Tabla de contingencias

Dificultades no previstas encontradas y sus soluciones

Dentro de las dificultades que se presentaron durante el desarrollo del presente proyecto, la más destacada fue en relación a los sensores LDR. Al ser un componente relativamente económico, no tiene una precisión exacta cuando salen de fábrica, por lo tanto, necesita de una calibración individual. Además, son muy susceptibles al movimiento en sus conexiones, por lo que podían entregar valores erróneos si sufrían algún movimiento.

Para solucionar estos problemas, se calibraron los LDR con su valor respectivo dentro del código arduino y se mejoraron las conexiones. Sería una buena opción comprar un módulo sensor de luz, como el BH1750, que elimina prácticamente los problemas de conexión y no tienen problema de calibración.

Generalización

La solución propuesta en este capítulo y su respectivo análisis solo se enfocan en la habitación de estudio. Sin embargo es sensato suponer, que ampliando esta misma solución a toda una vivienda, el ahorro energético sería mayor y tendría un mayor impacto ambiental.

Al extenderse a varios ambientes, sería necesario reconsiderar la elección de la placa Arduino, ya que será necesario una mayor cantidad de conexiones analógicas y digitales. También podría considerarse un enfoque descentralizado, donde haya varias placas arduino controlando distintos sectores de la vivienda de manera independiente; o comunicarlos entre sí para poder darle un control más global al sistema y permitir otras funcionalidades más avanzadas, en función de la información que se generaría.

Es posible también pensar en una sistema híbrido, usando una Raspberry Pi como procesador central del sistema y placas arduino como subsistemas satélites que permitan controlar sectores independientes de la vivienda, lo que permitiría mayores opciones donde se pueda agregar mayor confort al usuario, sacrificando cierto nivel de ahorro energético. Esto se deja planteado como futura línea de trabajo.

Capítulo 6 Conclusiones y futuras líneas de trabajo

Con el transcurrir del tiempo, la tecnología ha tenido un rol determinante en el avance y desarrollo de la vida humana. Desde la invención de la rueda hasta la creación del aire acondicionado, la misma ha sido empleada primordialmente para satisfacer gradualmente sus necesidades y ayudar a mejorar el confort de los individuos.

Un aspecto muchas veces relegado, en la vertiginosidad de cambios, es la repercusión que la tecnología ha tenido y tiene actualmente en el medio ambiente. Este impacto, cada vez más negativo, ha alcanzado niveles irreversibles, y es debido a ello que estoy convencido, coincidiendo con Bill Gates⁴⁷, que nuestra responsabilidad, como portadores de innovación, es impulsar este cambio de paradigma, creando y empleando la tecnología como aliada en una búsqueda de alternativas ecológicas, promoviendo el uso responsable por parte de los usuarios y priorizando la necesidad de dar congruencia a las acciones enfocadas al desarrollo sustentable de nuevas herramientas.

El bagaje de conocimientos que ha aportado la carrera en el desarrollo de este proyecto ha sido variado, enriquecedor y ampliamente influyente en el resultado final del mismo. El análisis sistémico que se incorpora a lo largo de todo el cursado, forma parte de la construcción progresiva del pensamiento integral que todo sistema requiere. Las capacidades vinculadas al desarrollo de software configuran una estructura cognitiva dotada de un accionar proclive a hallar algoritmos en diversas situaciones cotidianas, mientras que la gestión de proyectos promueve la puesta en práctica de ideas, que sin estos conocimientos quedarían inconclusas o inacabadas. Considero también, que son las que a fin de cuenta me enseñaron que la informática es una herramienta extremadamente versátil, pero que sin un propósito definido no tiene razón de ser.

Personalmente, me pareció que se puede aportar en una situación que pasa desapercibida muy fácilmente y que parece no colaborar en gran medida. Sin embargo, como lo demuestra este proyecto, la aplicación de la domótica con el objetivo de reducir el consumo energético es posible ya que el estudio realizado pone de manifiesto un ahorro potencial en el 14,07% del tiempo de estudio. Esto conlleva a un ahorro neto de 32,73kW en las condiciones estudiadas.

Este resultado confirma la hipótesis planteada en primera instancia, y si se despliega su implementación en toda una vivienda y no solo en un cuarto, sería posible contemplar cambios

⁴⁷ (Wall Street Journal, 2012)

aún más relevantes. Por otro lado, si la escala del proyecto fuese a nivel gubernamental, por ejemplo, recurriendo al uso de la domótica en la construcción estatal de viviendas, el alcance y el impacto que ésta tendría serían formidables.

En referencia a futuras líneas de trabajo, este proyecto deja abierta la posibilidad para la domotización de viviendas en su totalidad, donde también podría llegar a evaluarse la incorporación de otros circuitos energéticos del hogar, como por ejemplo la calefacción efectiva y eficiente o el ahorro de agua minimizando el derroche, en pos de evitar su uso desmedido o posibles pérdidas.

Es preciso mencionar, también, que para su masificación sería recomendable la creación de una interfaz con el usuario, para que el proceso de adopción encuentre una menor resistencia y una mayor adopción.

Capítulo 7 Bibliografía

- Arduino. (05 de 02 de 2018). *What is Arduino? | Arduino*. Obtenido de <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>
- Cammesa. (11 de 12 de 2019). *Informe mensual - Principales variables del mes - Diciembre 2019*. Obtenido de https://portalweb.cammesa.com/MEMNet1/Informe%20Mensual/Anteriores/Informe%20Mensual_2019-12.pdf
- Carral Álvaro, J. (2018). *Control de la eficiencia energética y seguridad en una vivienda unifamiliar*. Universidad de La Coruña, La Coruña.
- Castal, Y. (2014). *Introducción al método científico y sus etapas*. Instituto Aragonés de Ciencias de la Salud. Obtenido de <http://www.ics-aragon.com/cursos/salud-publica/2014/pdf/M2T00.pdf>
- COPAIPA. (2020). *Honorarios de Informática*. Obtenido de <http://www.copaipa.org.ar/informatica/>
- EDESA. (2020). *Cuadro Tarifario - EDESA*. Obtenido de <https://www.edesa.com.ar/cuadro-tarifario/#!/cuadro-tarifario>
- Epson America, Inc. (04 de 2016). *Manual del usuario de la L355*. Obtenido de https://files.support.epson.com/htmldocs/l355___/l355__ug6/index.html
- FeanDoe. (25 de 01 de 2018). *File:Sensibilidad y especificidad.svg*. Obtenido de https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sensibilidad_y_especificidad.svg
- Harvard University. (20 de Mayo de 2013). *Bill Gates Harvard Commencement Address 2007*. Obtenido de <https://youtu.be/zPx5N6Lh3sw>
- IPCC. (2014). *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Geneva, Switzerland: IPCC. Obtenido de https://archive.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5_SYR_FINAL_SPM_es.pdf
- La Gaceta Salta. (31 de 05 de 2018). *Redes eléctricas inteligentes en Salta: ¿de qué se trata?* Obtenido de <https://www.lagacetasalta.com.ar/nota/105318/actualidad/redes-electricas-inteligentes-salta-de-se-trata.html>
- Loyola Mendoza, A. A. (2018). *Sistema Domótico con Aplicación Móvil en Android para mejorar el control de la energía y acceso a puertas en un hogar*. Universidad César Vallejo, Trujillo, Perú.
- Make Community LLC. (2020). *Maker Faire | About Maker Faire - Maker Faire*. Obtenido de <https://makerfaire.com/makerfairehistory/>
- Ministerio de desarrollo productivo. (s.f.). *Consumo básico de electrodomésticos | Argentina.gob.ar*. Obtenido de <https://www.argentina.gob.ar/enre/uso-eficiente-y-seguro/consumo-basico-electrodomesticos>
- Parra de Gallo, H. B. (Noviembre de 2006). La formación humanística en el ingeniero. *Cuadernos De Ingeniería*, 133-145. Obtenido de <http://revistas.ucasal.edu.ar/index.php/CI/article/view/200>
- Project Management Institute. (2013). *Guía de los Fundamentos de la Dirección de Proyectos* (Quinta ed.).
- Prometec. (s.f.). *¿Cuánto consume Arduino? | Tienda y Tutoriales Arduino*. Obtenido de <https://www.prometec.net/consumos-arduino/>

Sanclemente Carretero, O. (2016). *Casa domótica con Arduino*. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia.

Wall Street Journal. (25 de Marzo de 2012). *Bill Gates Talks About the Future of Energy*. Obtenido de <https://youtu.be/IsRIN1oDm60?t=2651>

Capítulo 8 Anexos

Anexo 1 - Diseños de referencia

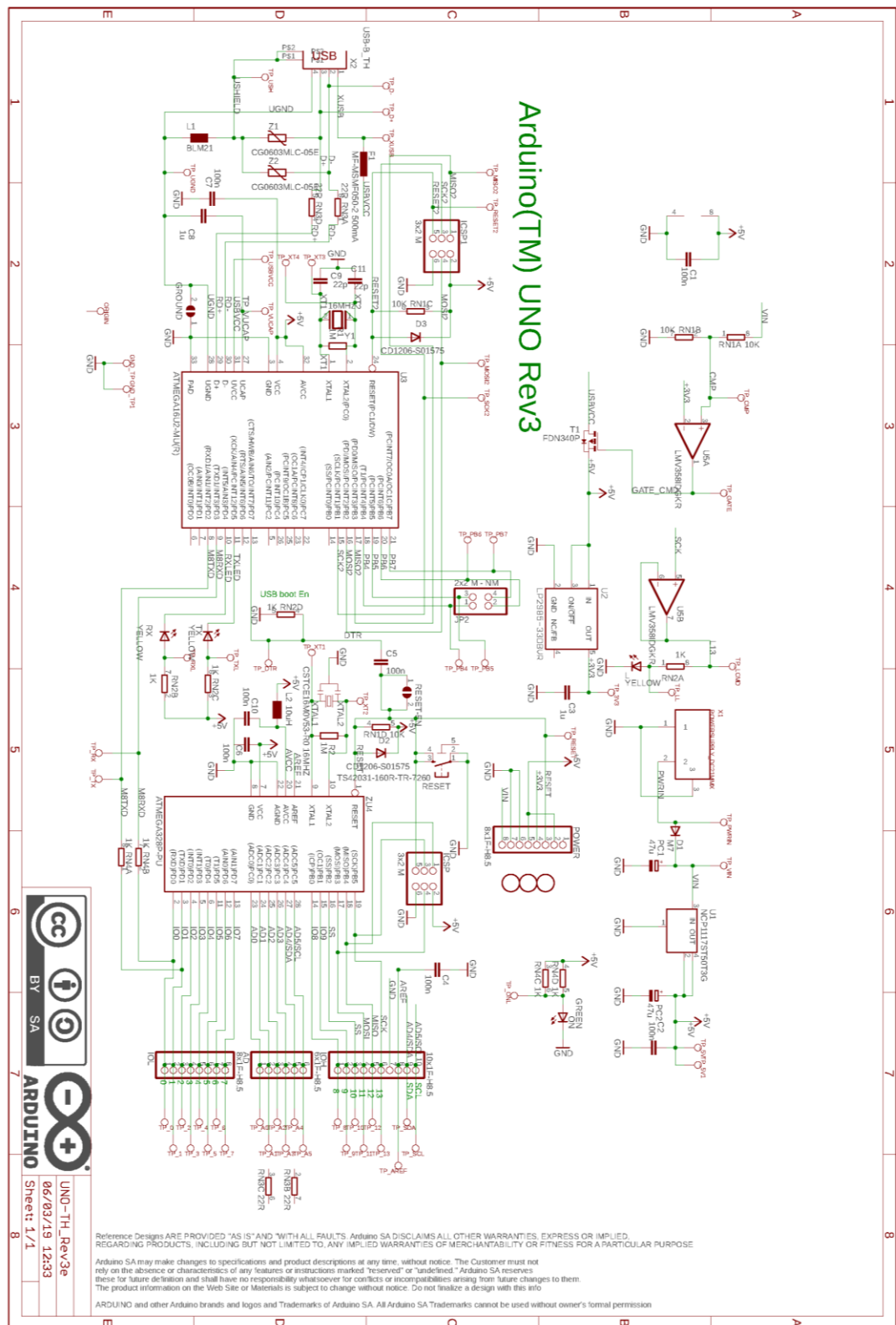
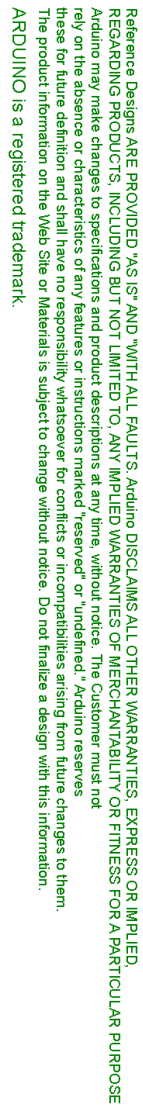


Ilustración 25 - Diseño de referencia Arduino Uno⁴⁸

⁴⁸ Obtenida de: https://content.arduino.cc/assets/UNO-TH_Rev3e_sch.pdf



⁴⁹ Obtenido de: <https://www.arduino.cc/en/uploads/Main/arduino-ethernet-shield-06-schematic.pdf>

Anexo 2 - Código Arduino

En las siguientes líneas, se introduce el código fuente del programa de control del arduino para recolectar los datos de los sensores para su posterior análisis.

```
//Librerias

//serial

#include <SPI.h>

//microsd

#include <SD.h>

//constantes

// pin para el LED

const int LEDPin = 13;

//resistencias de los LDR

const short LO = 1000, LL = 15, LC = 10; //todas las resistencias están en kΩ

const unsigned long millisTieneUnDia = 86400000; //(1000*60*60*24) = milisegundos
en un dia

unsigned long diasTranscurridos, tiempoTranscurrido, millisAnterior; //
diasTranscurridos desbordará en 11 millones de años.

int Val1, Val2 = 0;

void setup() {

  pinMode(LEDPin, OUTPUT);

  millisAnterior = 0;

  Serial.begin(9600);
```

```
while (!Serial);    // espera a que se conecte el serial. Necesario solo para Arduino Leonardo
```

```
Serial.print("Probando SD card...");
```

```
pinMode(10, OUTPUT); // Esto es necesario para asegurarse que el pin 10 no convierta al arduino en esclavo en el protocolo spi. pin 53 para arduino Mega, 10 para las demás
```

```
if (!SD.begin(4)) {
```

```
    Serial.println("No hay tarjeta");
```

```
    return; // NO sigas
```

```
}
```

```
Serial.println("Sd encontrada.");
```

```
diasTranscurridos = 0;
```

```
tiempoTranscurrido = 0;
```

```
}
```

```
void loop() {
```

```
    File dataFile = SD.open("data.txt", FILE_WRITE);
```

```
    if (dataFile){ // Si ha podido abrir el fichero
```

```
        Valores();    //calculo los nuevos datos de sensores
```

```
        tiempo();    //calculo los datos de tiempo
```

```
        Serial.println(diasTranscurridos);
```

```
        Serial.println(tiempoTranscurrido);
```

```
        dataFile.print("Dias: " + String(diasTranscurridos) + " Horas: " +  
int((tiempoTranscurrido/1000/60/60)%60) + " Minutos: " + int(tiempoTranscurrido/1000/60) +  
" Segundos: " + int(((tiempoTranscurrido/1000)%60)) + ";"); //imprimo los milisegundos  
        cuando empieza a escribir los datos de los sensores
```

```
        Serial.println("LDR 1: " + String(Val1));

        dataFile.print("LDR 1: " + String(Val1) + ";");

        Serial.println("PIR 1: " + String(Val2));

        dataFile.println("PIR 1: " + String(Val2) + ";");

        Serial.println("listo");

        digitalWrite(LEDPin, HIGH);

        digitalWrite(LEDPin, LOW);

        dataFile.close();

        delay(1000);

    }

}

void Valores(){

    short ValInt = short(analogRead(A1));

    Val1 = ((long)ValInt*LO*10)/((long)LL*LC*(1024-ValInt));

    Val2 = digitalRead(2);

}

void tiempo(){

    //encargado de manejar el overflow de los milisegundos a los 50 días aprox, para poder
    //dejar el sistema andando por mayor tiempo

    tiempoTranscurrido = millis() - millisAnterior; //Cálculo de milisegundos transcurridos
    //desde la última marca
```

```
        if (tiempoTranscurrido >= millisTieneUnDia) { // si ha transcurrido un día desde la
última marca

            diasTranscurridos++; // aumentamos el contador de días

            millisAnterior += millisTieneUnDia; // establecemos la nueva marca de inicio

        }

    }
```

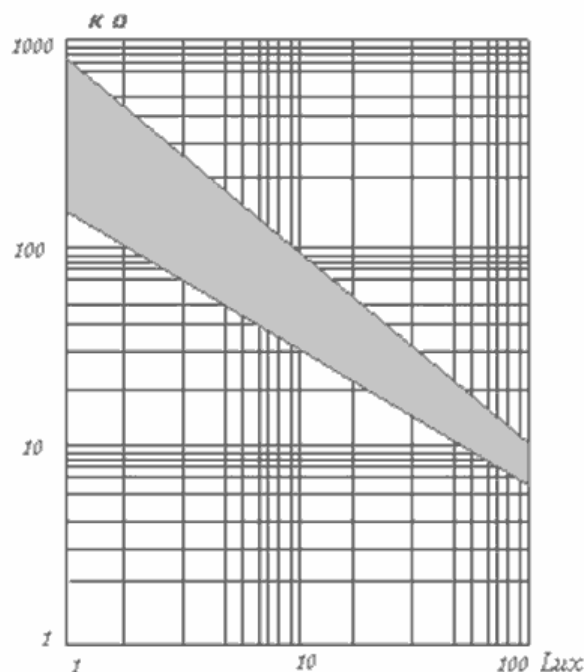
Anexo 3 - Funcionamiento de un fotorresistor LDR

Matemáticamente, la relación entre la iluminancia y la resistencia de una LDR sigue una función potencial.

$$\frac{I}{I_0} = \left(\frac{R}{R_0} \right)^{-\gamma}$$

Siendo R_0 la resistencia a una intensidad I_0 , ambas conocidas.

La constante gamma es la pendiente de la gráfica logarítmica, o la pérdida de resistencia por década. Su valor típicamente 0.5 a 0.8. Por este motivo, frecuentemente las gráficas que relacionan ambos valores se representan en escalas logarítmicas para ambos ejes. Bajo esta representación, la relación se muestra como una gráfica lineal.



Estos valores pueden ser obtenidos de la hoja de datos del componente⁵⁰. Por ejemplo, para el LDR utilizado en este proyecto son los siguientes:

Modelo	Pico espectral (nm)	Resistencia luz brillante (KΩ)	Resistencia oscuridad (KΩ)	gamma	Tiempo respuesta (ms)
GL5528	540	10-20	1000	0.6	25

Sin embargo, siempre existirán pequeñas variaciones entre dispositivos, incluso dentro de la misma familia, debidas a la fabricación del componente.

⁵⁰ Esta hoja de datos puede encontrarse en el siguiente link: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/1131893/ETC2/GL5528.html>

El comportamiento potencial hace que estas pequeñas diferencias supongan grandes variaciones en la medición, por lo que no es posible, en general, emplear estos valores de forma absoluta sin un proceso de calibración.

Anexo 4 - Instalación MS SQL Server 2019

A continuación, se muestran los pasos a seguir para instalar el motor de base de datos Microsoft SQL Server 2019, para este proyecto, se utilizará la edición de evaluación gratuita que Microsoft ofrece por 180 días:

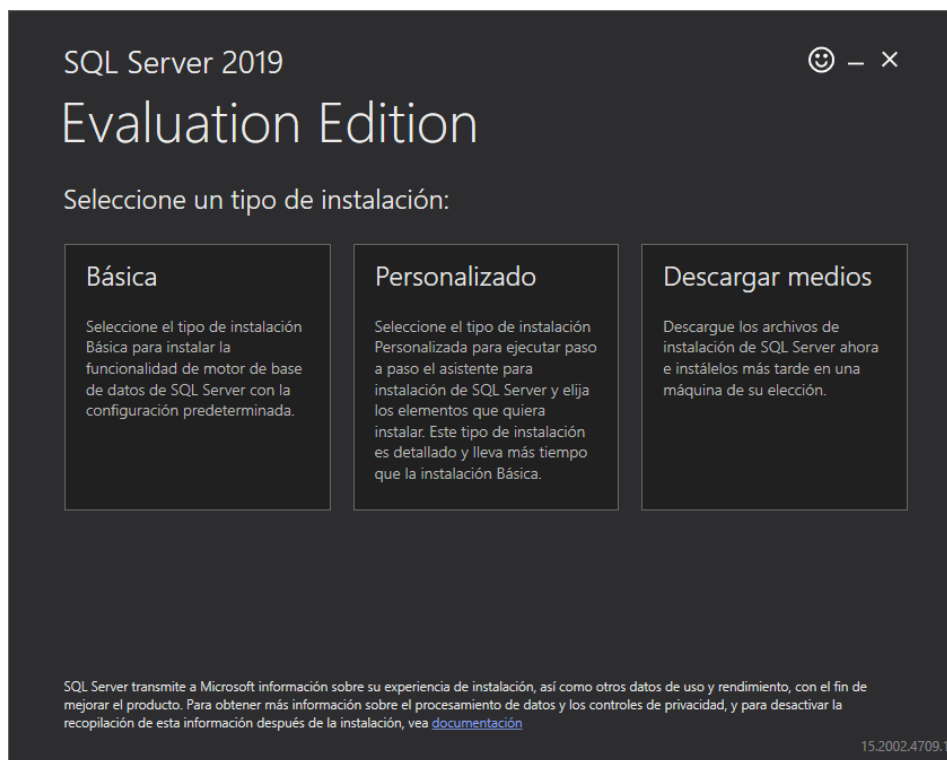


Ilustración 27 - Instalación SQL Server - Selección tipo de instalación

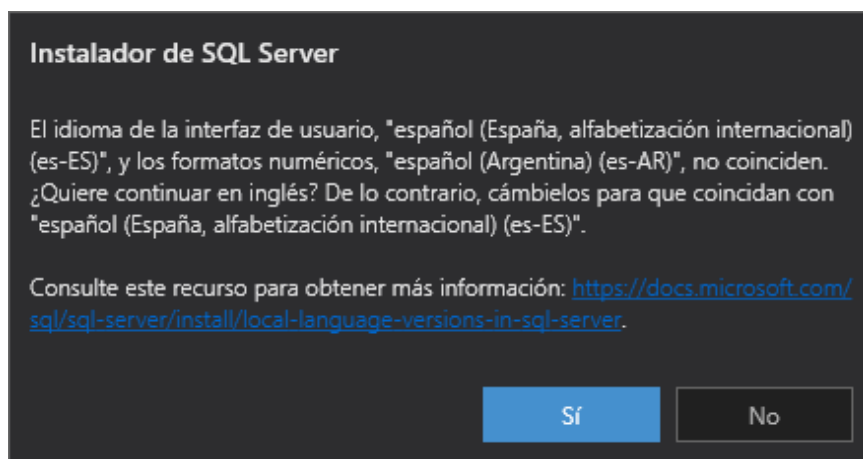


Ilustración 28 - Instalación SQL Server - Selección de idioma

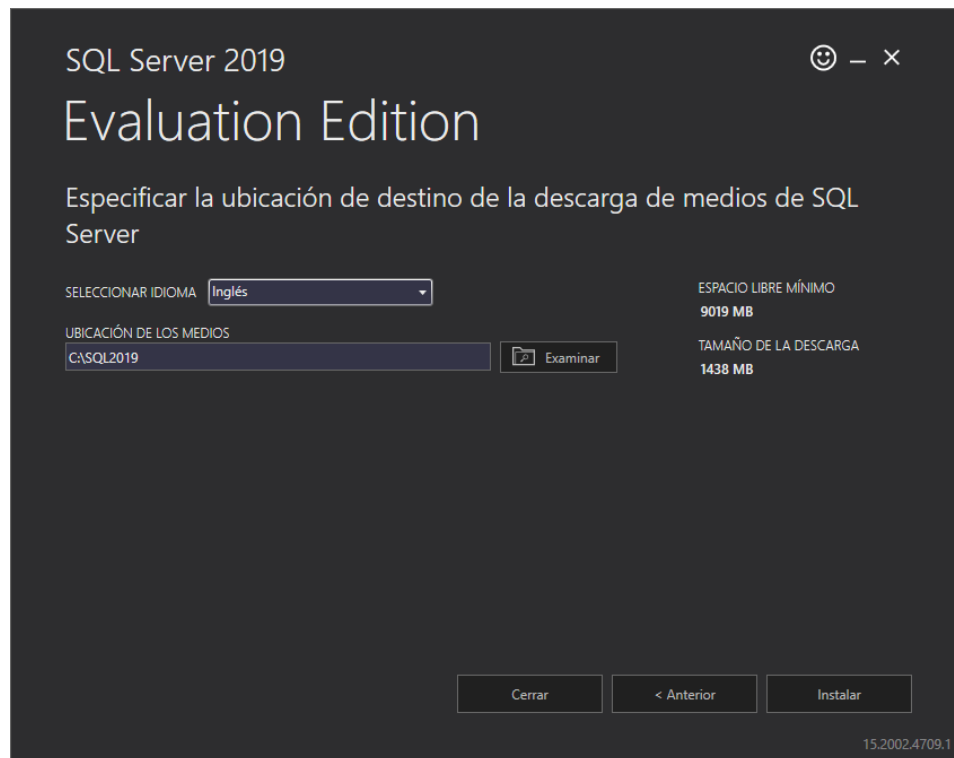


Ilustración 29 - Instalación SQL Server - Destino de la descarga

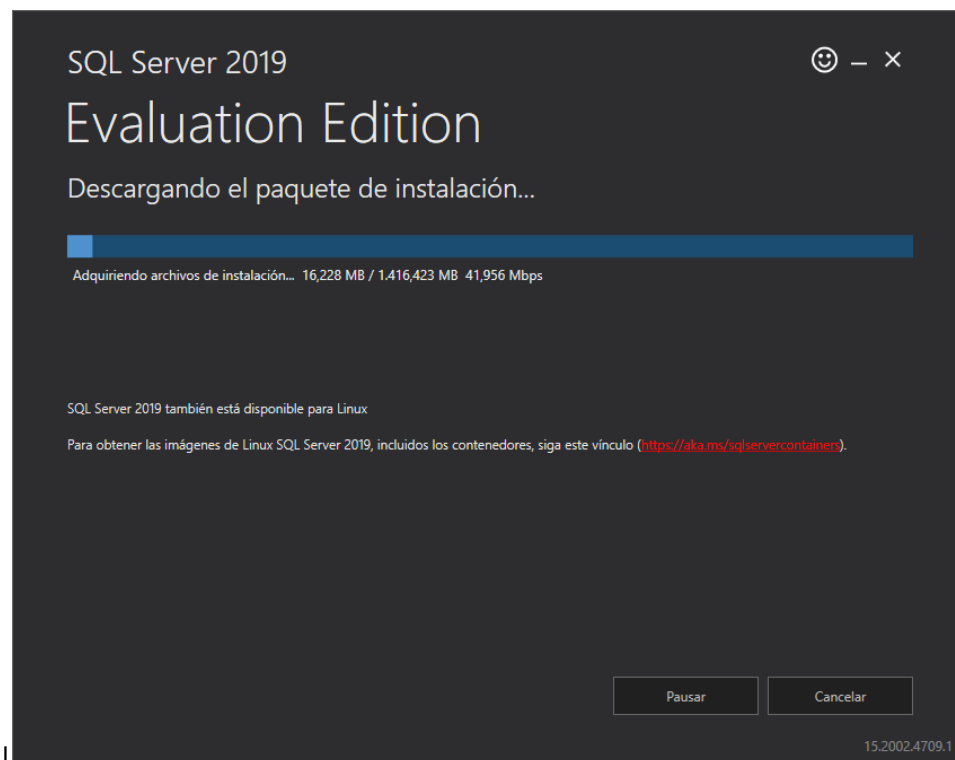


Ilustración 30 - Instalación SQL Server - Descarga en proceso

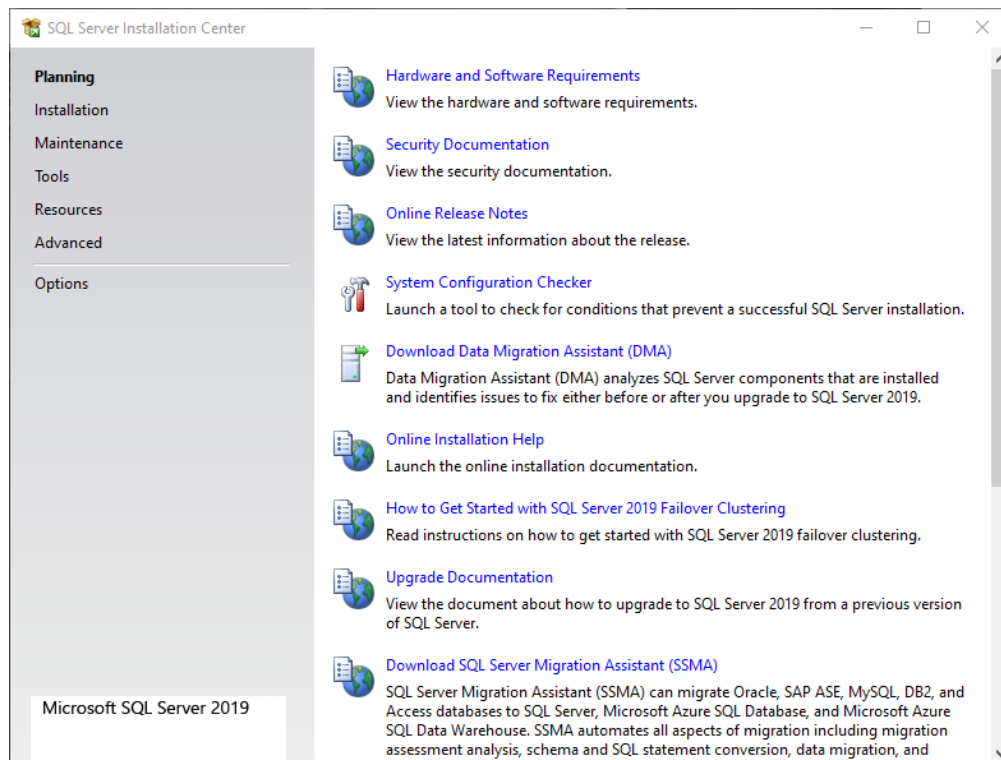


Ilustración 31 - Instalación SQL Server - Pantalla de inicio

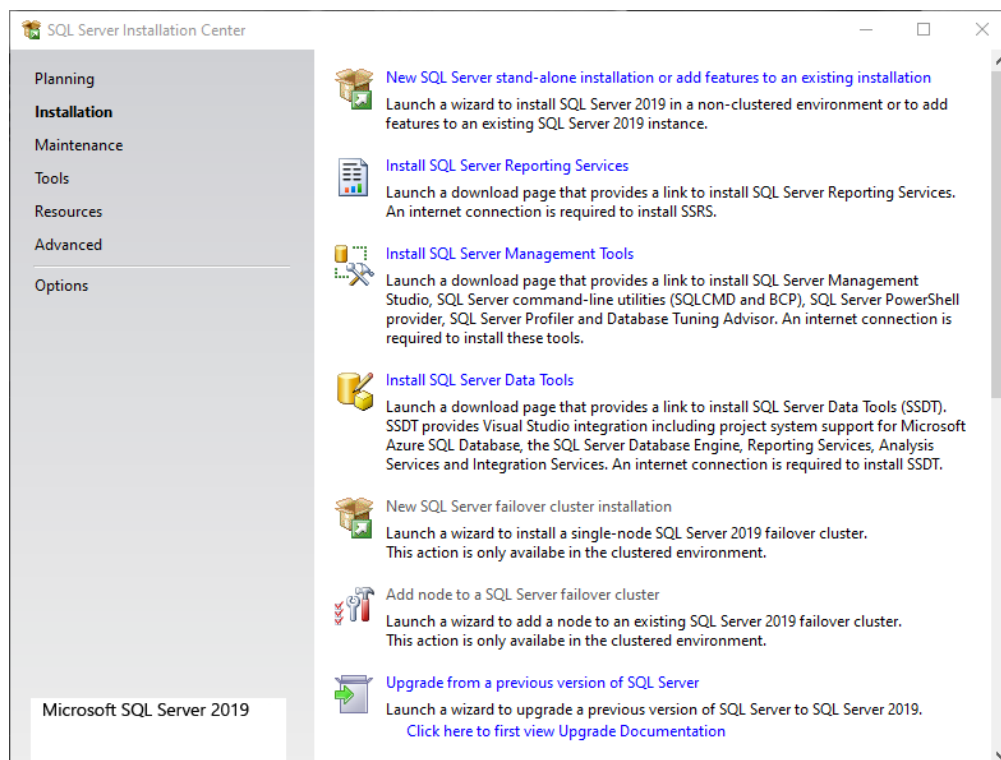
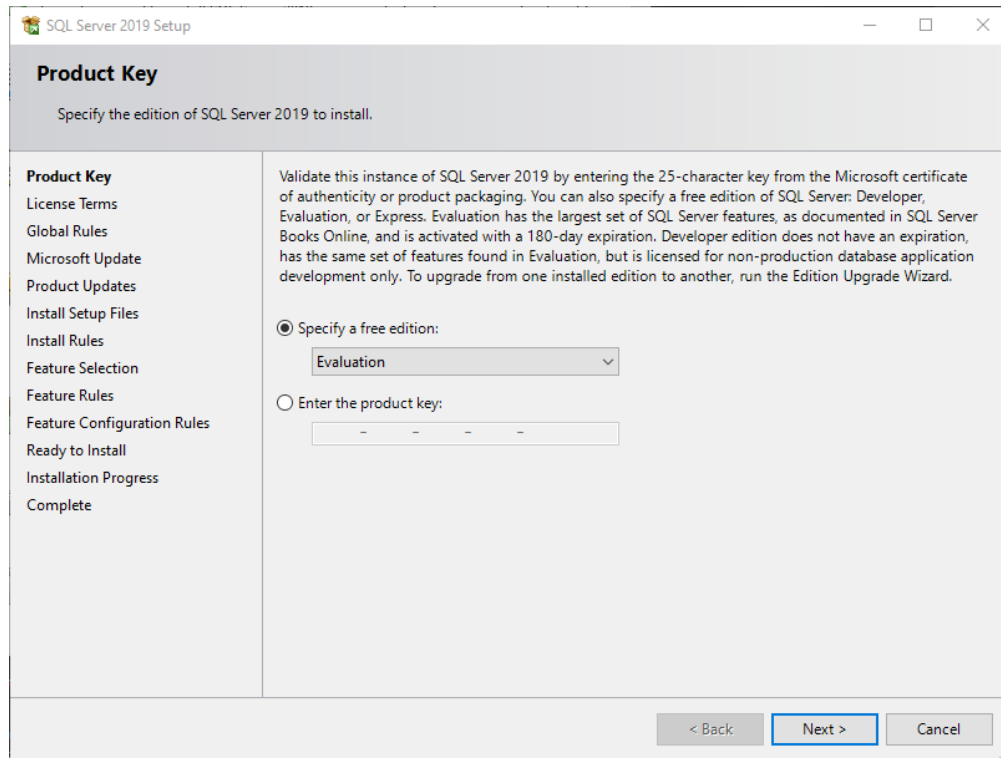
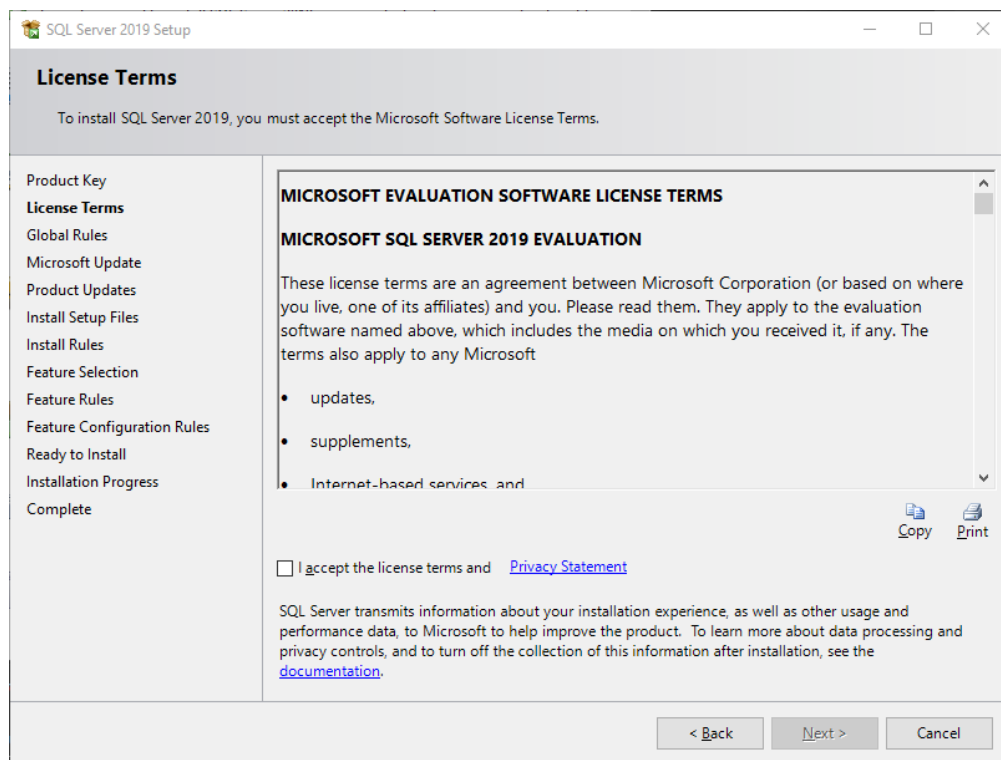


Ilustración 32 - Instalación SQL Server - Selección del tipo de instalación

*Ilustración 33 - Instalación SQL Server - Selección de edición de SQL**Ilustración 34 - Instalación SQL Server - Aceptación de los términos de la licencia*

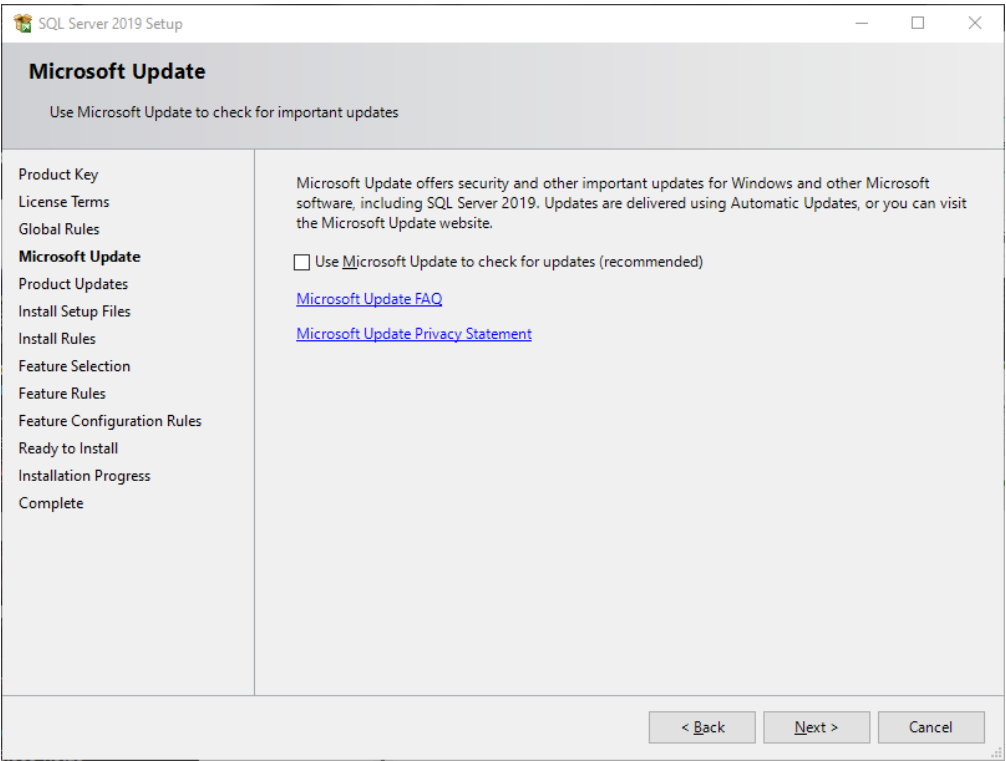


Ilustración 35 - Instalación SQL Server - Uso de Microsoft Update para actualizar el programa

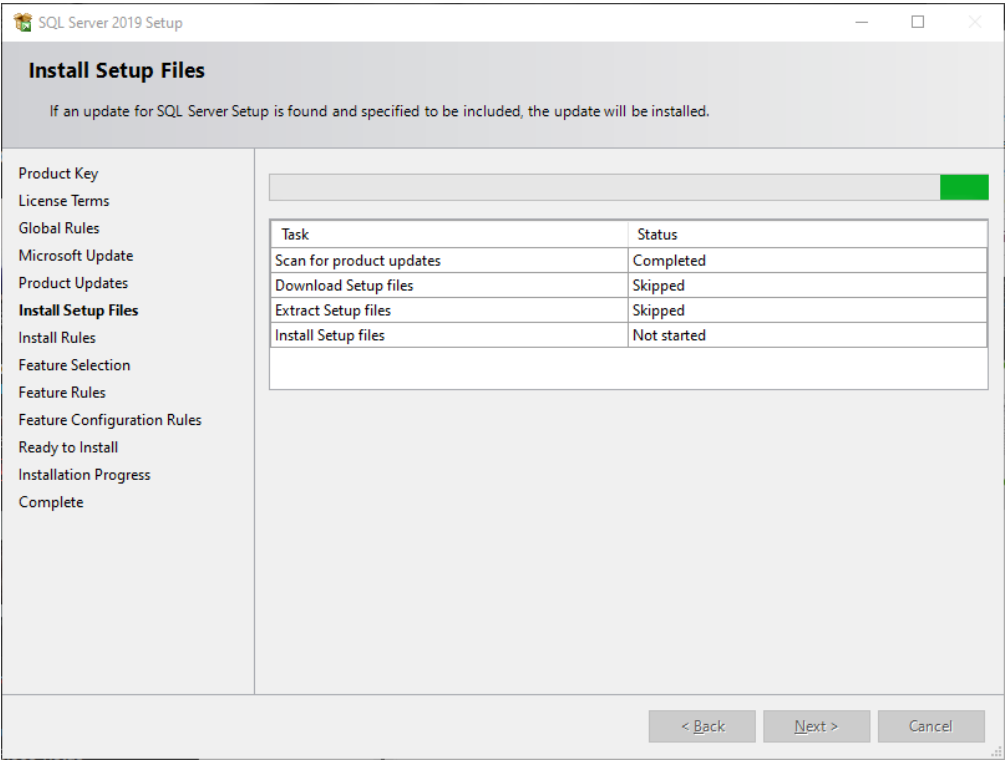


Ilustración 36 - Instalación SQL Server - Verificación de actualizaciones

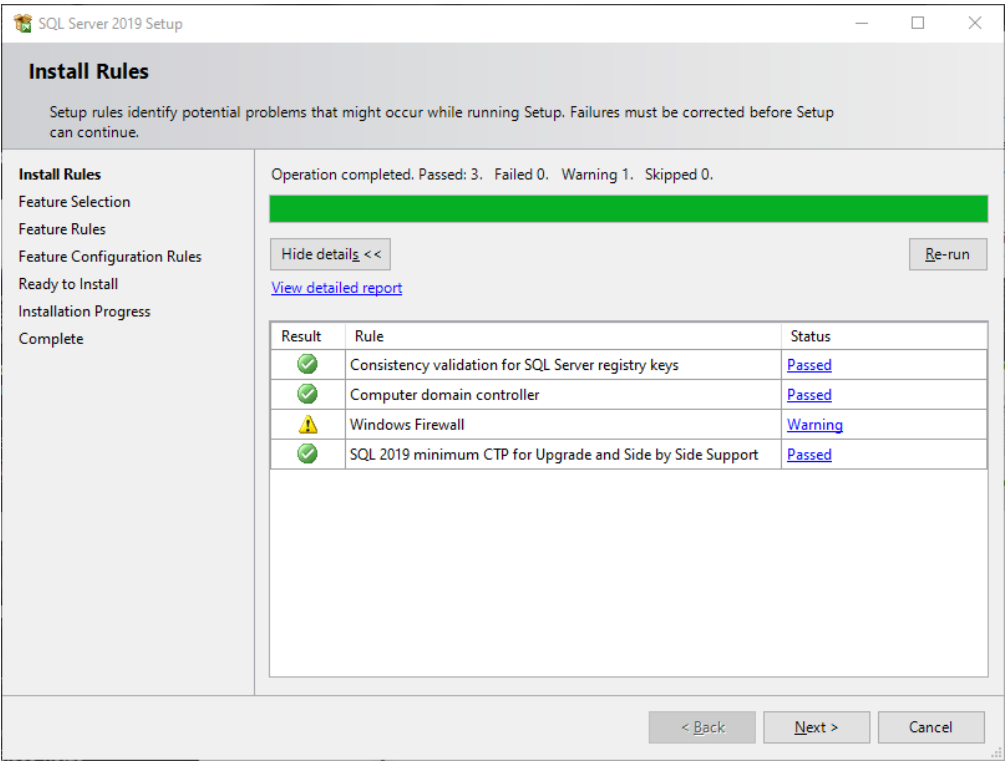


Ilustración 37 - Instalación SQL Server - Análisis de Requisitos para la instalación

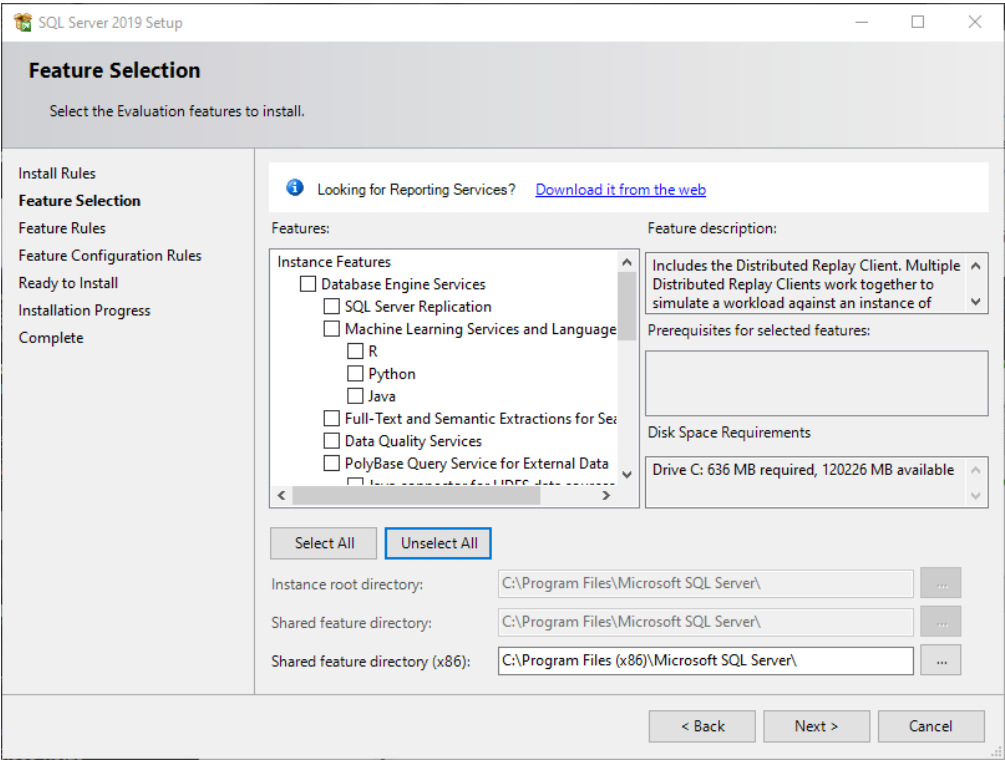


Ilustración 38 - Instalación SQL Server - Selección de características a instalar

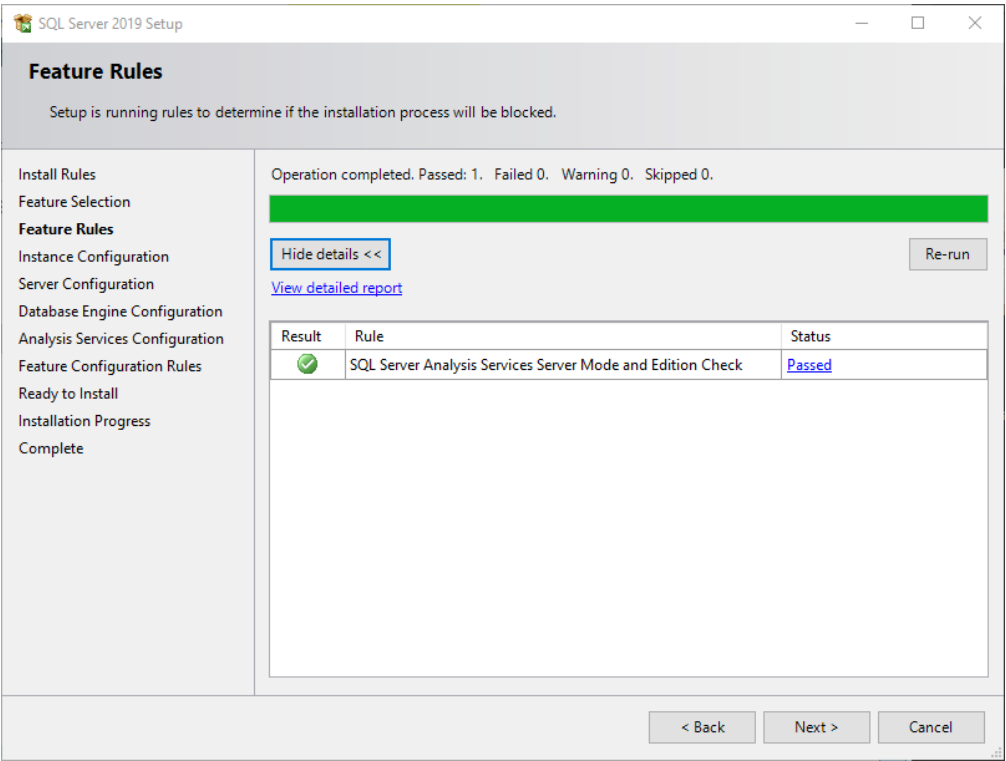


Ilustración 39 - Instalación SQL Server - Verificación de procesos a instalar

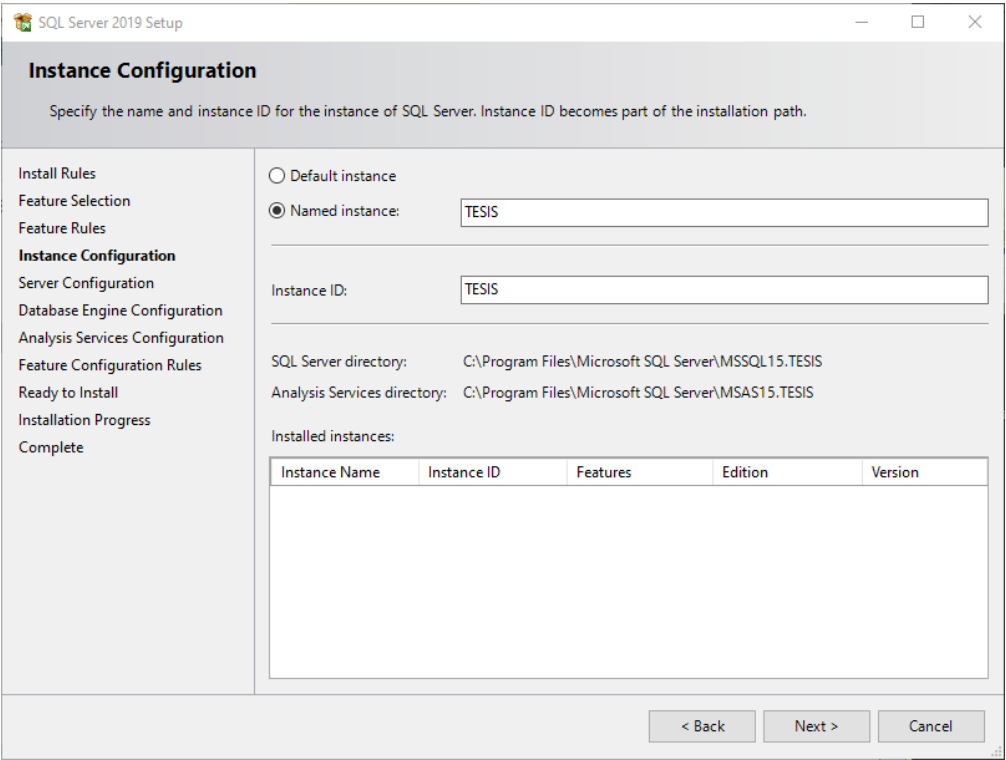


Ilustración 40 - Instalación SQL Server - Selección del nombre de Instancia

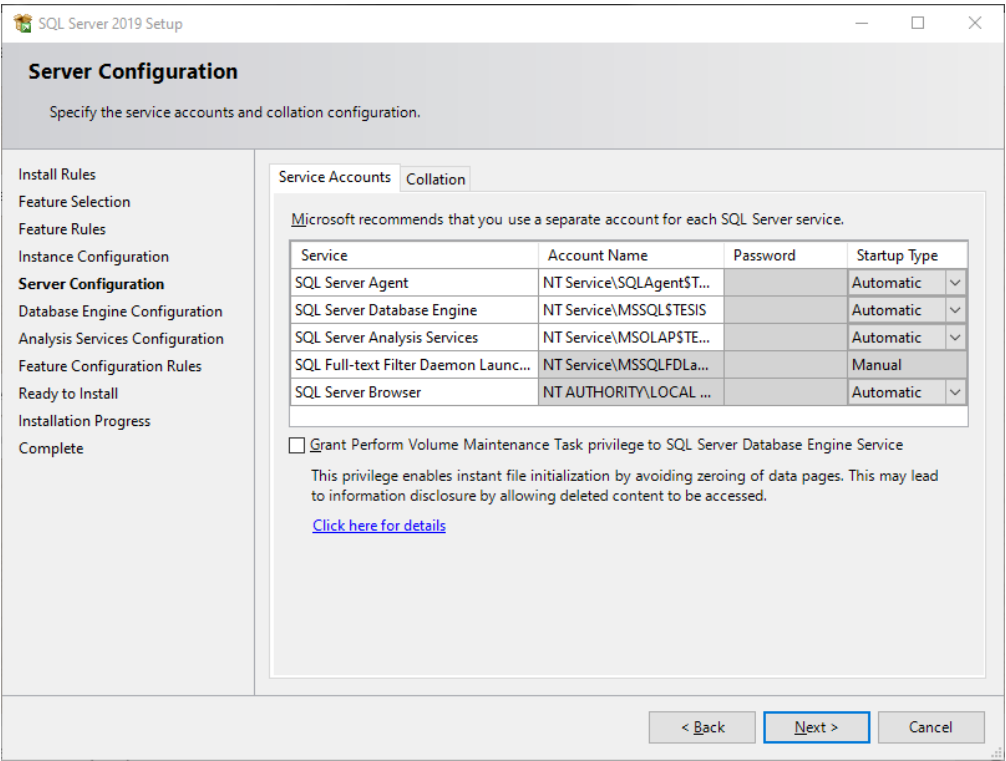


Ilustración 41 - Instalación SQL Server - Configuración del servidor

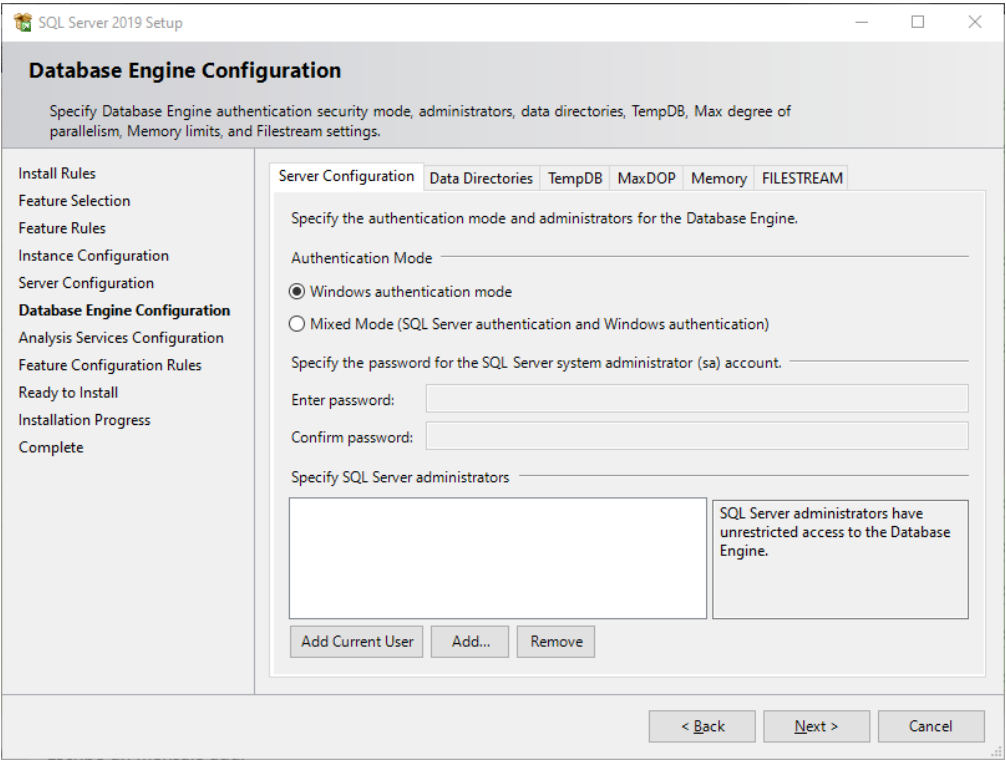


Ilustración 42 - Instalación SQL Server - Configuración del motor de base de datos

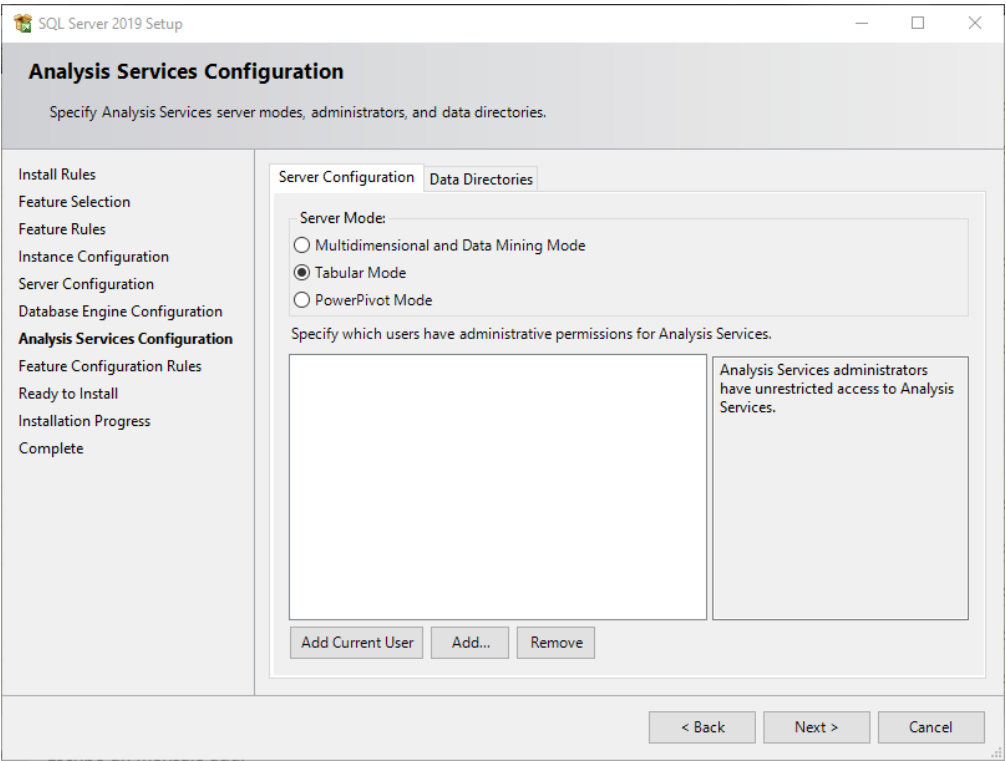


Ilustración 43 - Instalación SQL Server - Configuración de los servicios de análisis

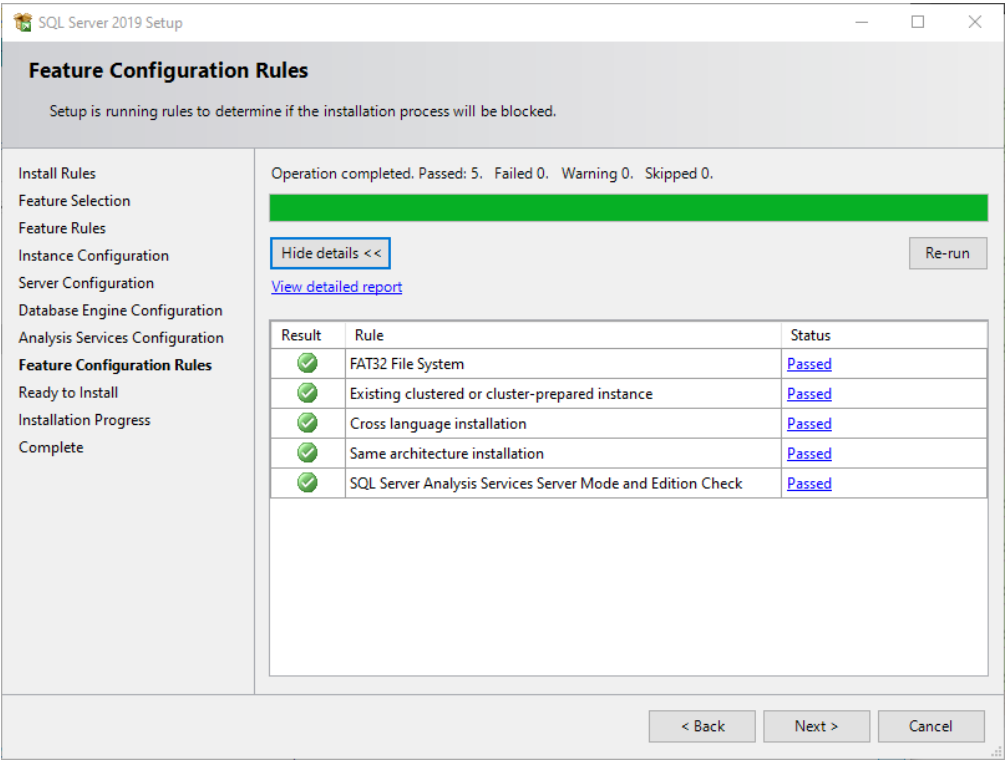
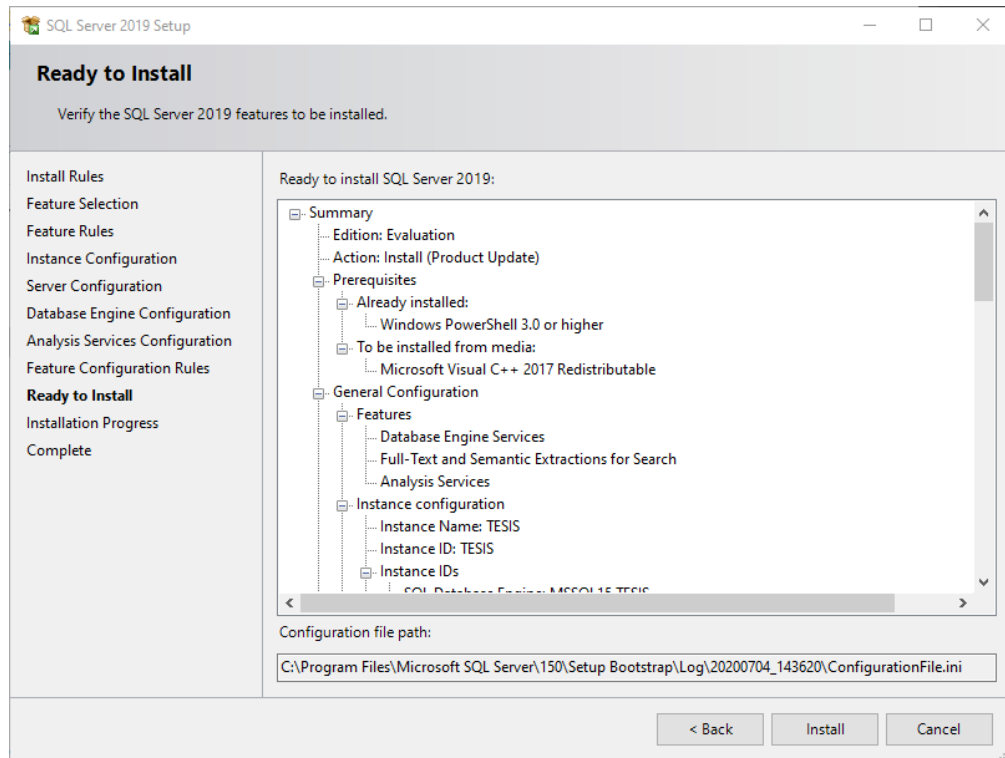
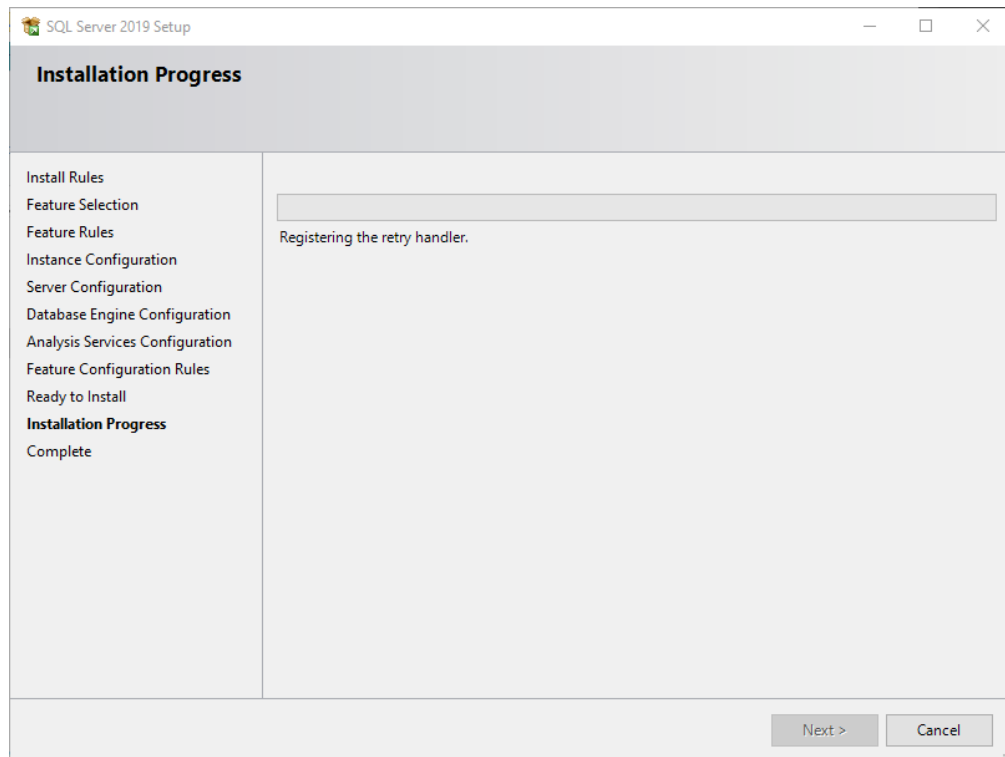


Ilustración 44 - Instalación SQL Server - Comprobación de requisitos de instalación

*Ilustración 45 - Instalación SQL Server - Resumen pre-instalación**Ilustración 46 - Instalación SQL Server - Instalación en progreso*

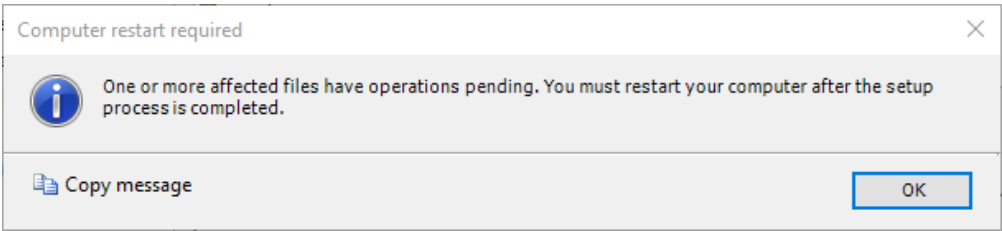


Ilustración 47 - Instalación SQL Server - Aviso de reinicio necesario post-instalación

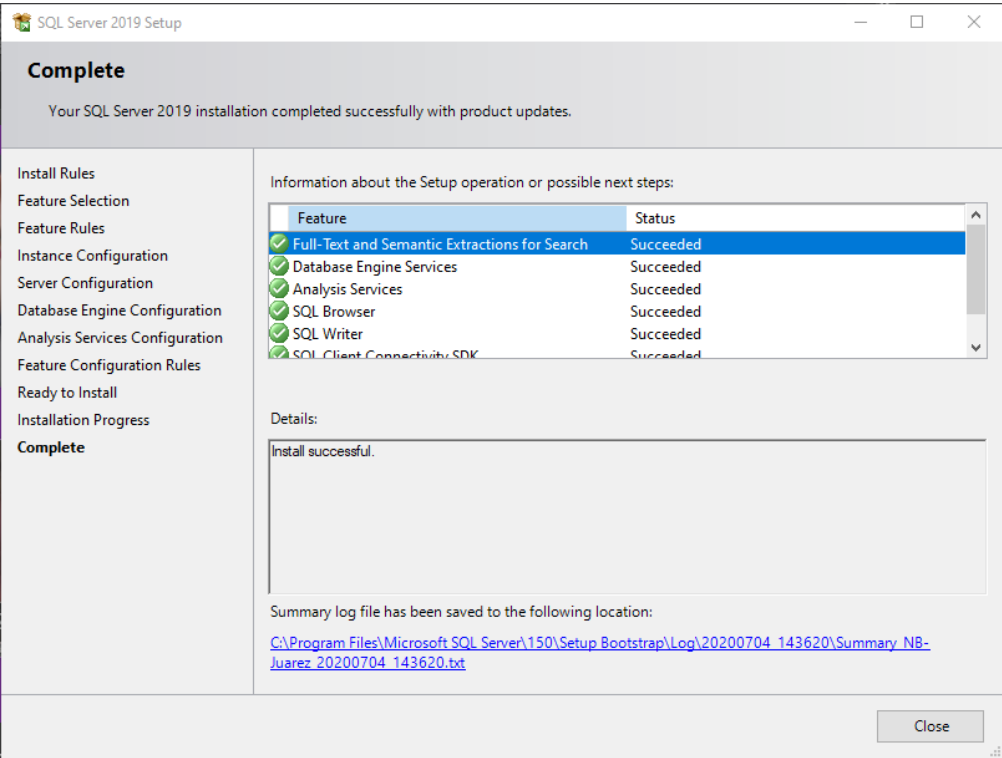


Ilustración 48 - Instalación SQL Server - Resumen de Instalación

Anexo 5 - Instalación MS SQL Server Management Studio

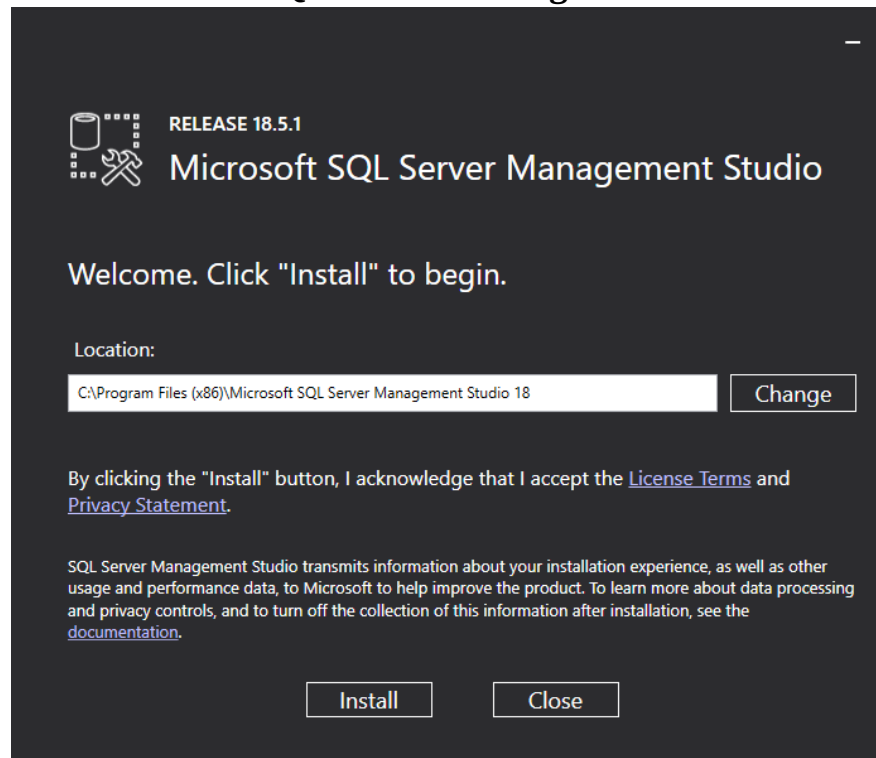


Ilustración 49 - Instalación Management Studio - Destino de Instalación

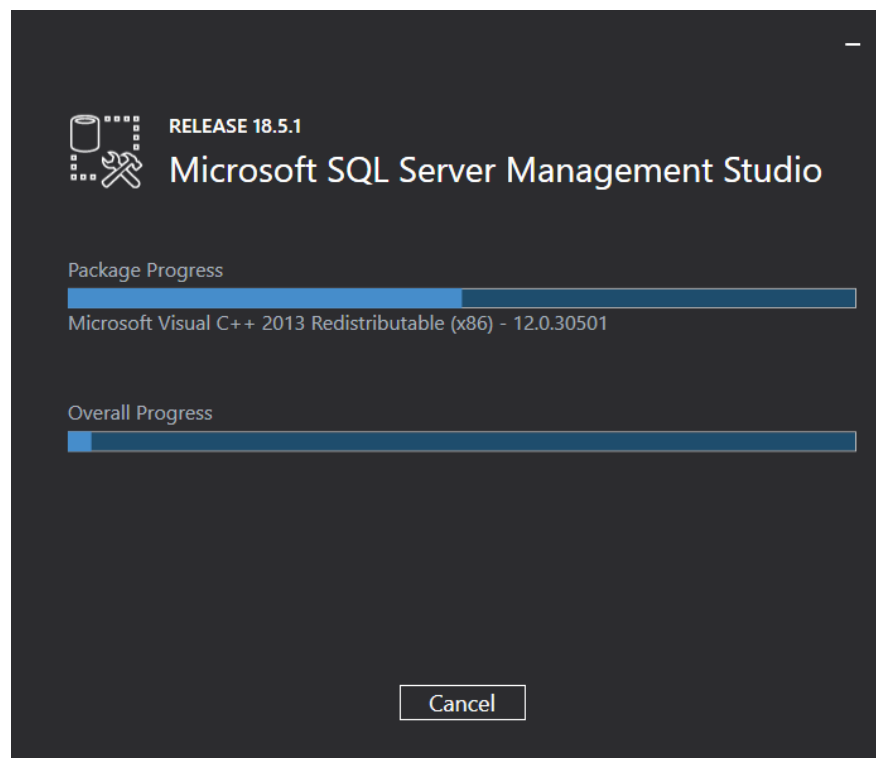


Ilustración 50 - Instalación Management Studio - Instalación en proceso

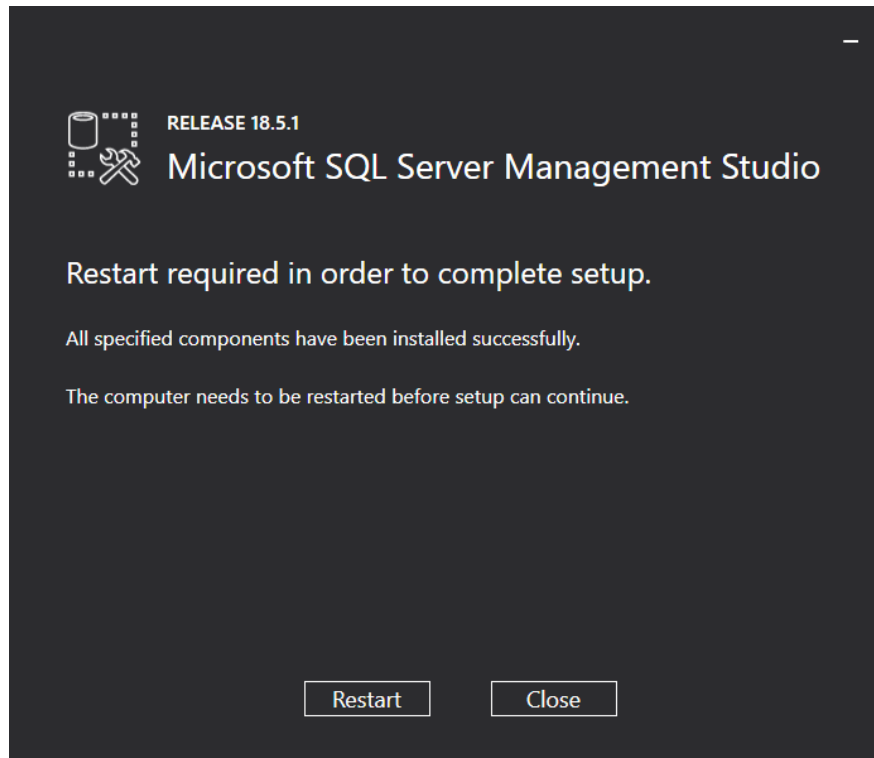


Ilustración 51 - Instalación Management Studio - Aviso de reinicio necesario post-instalación

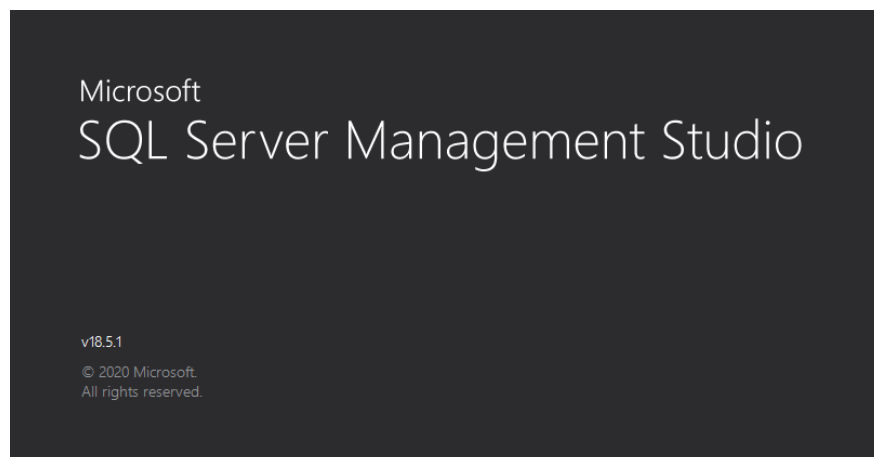


Ilustración 52 - Instalación Management Studio - Pantalla de Inicio del software

Anexo 6 - Creación de la Base de datos, Importación y formateo de datos

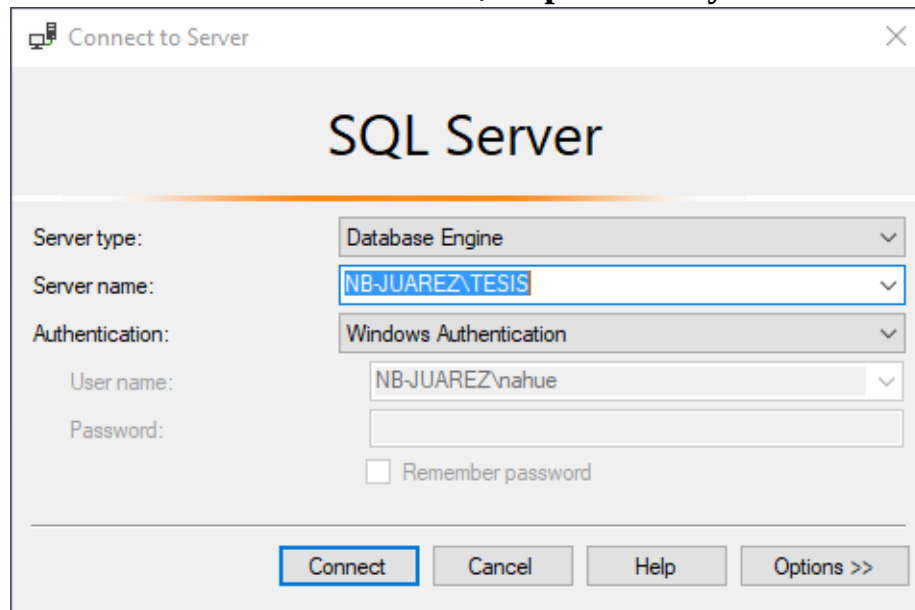


Ilustración 53 - SQL Server - Conexión a la instancia

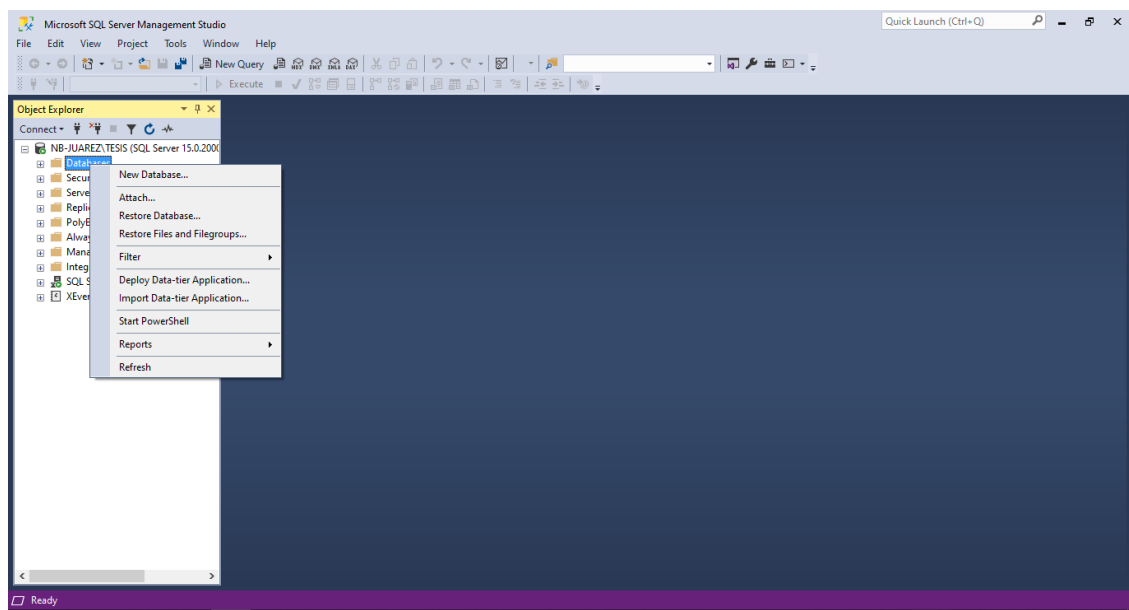


Ilustración 54 - SQL Server - Crear Base de datos nueva

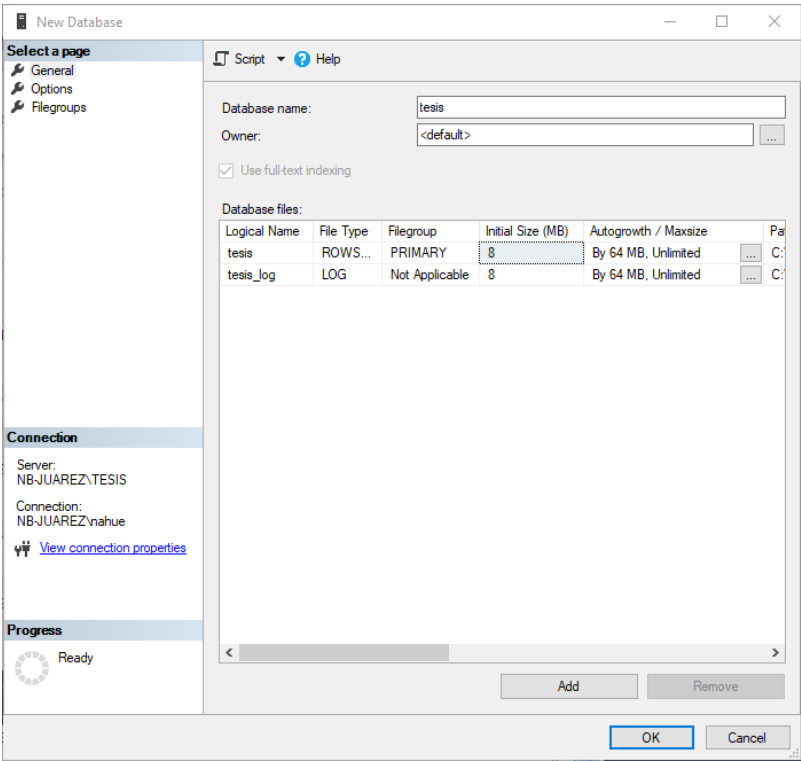


Ilustración 55 - SQL Server - Datos de la nueva base de datos

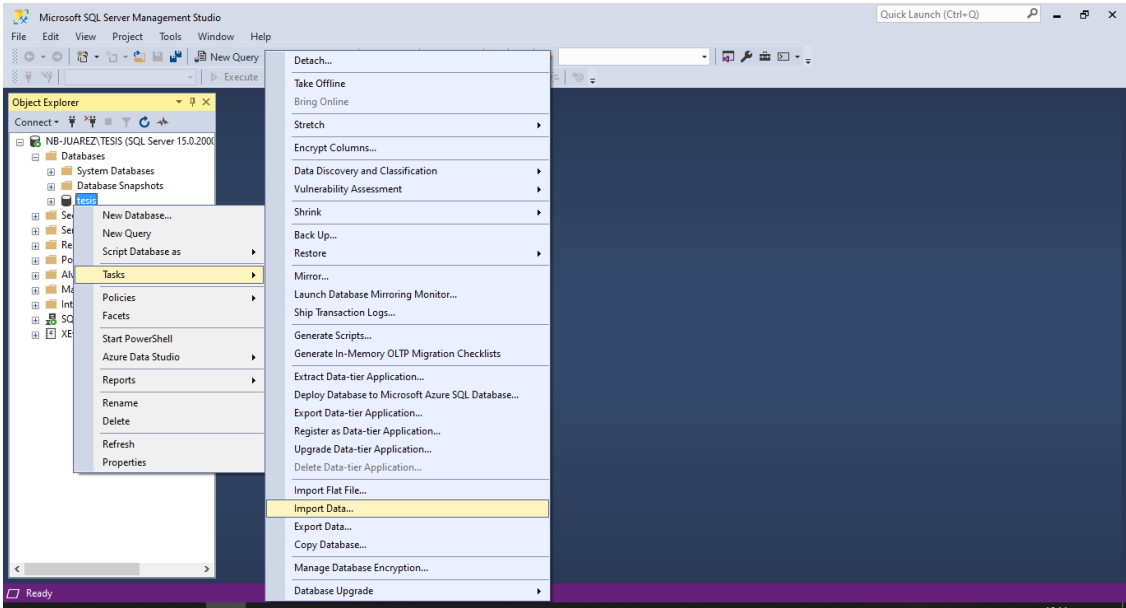


Ilustración 56 - SQL Server - Importar Datos

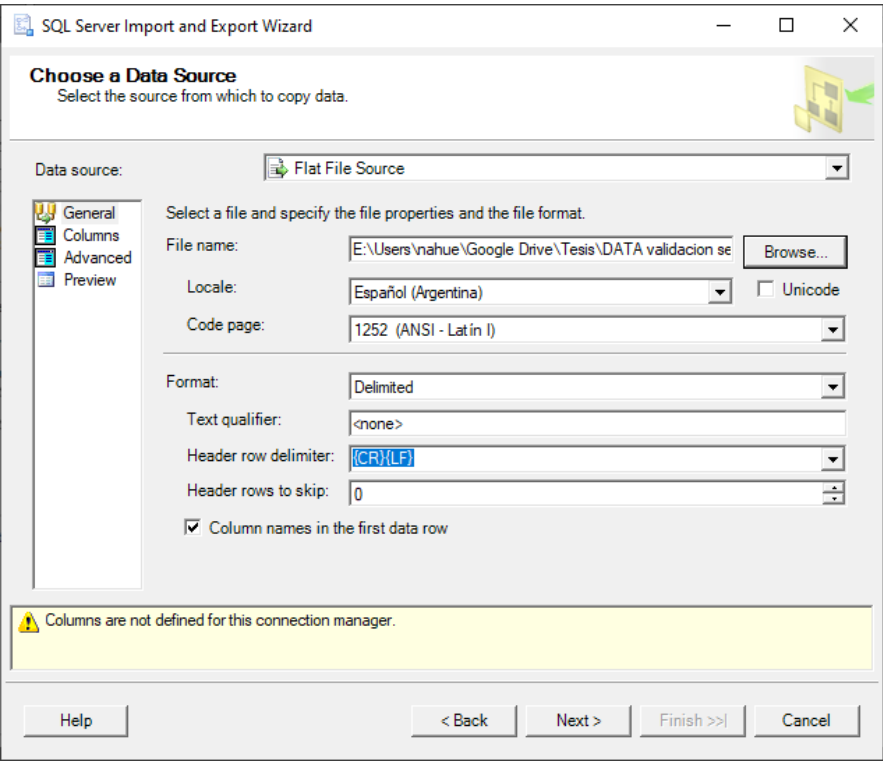


Ilustración 57 - SQL Server - Importar datos - Selección de origen

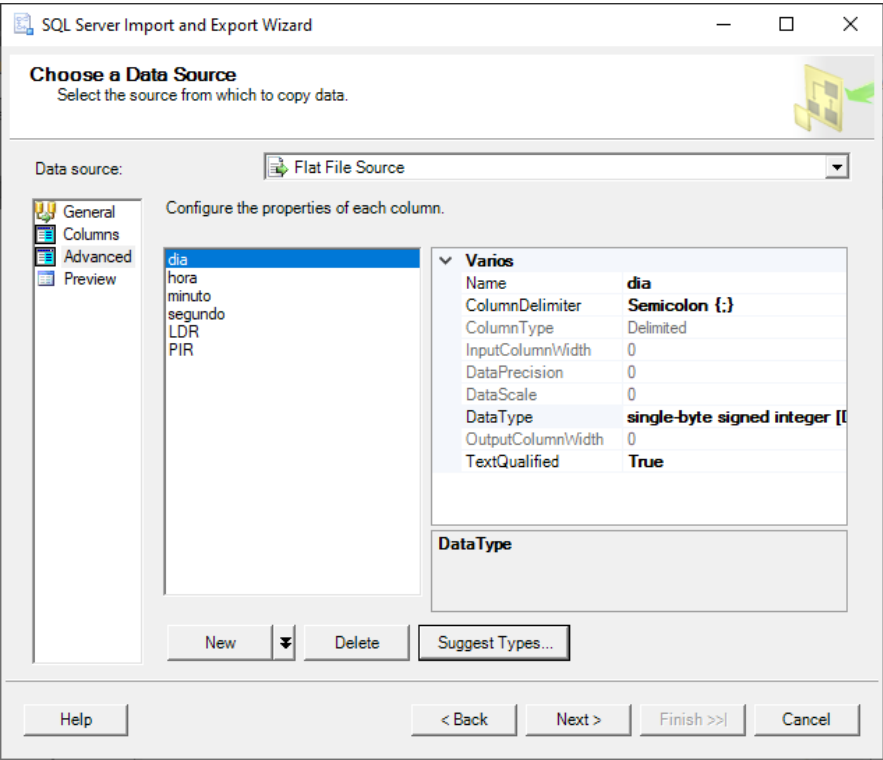


Ilustración 58 - SQL Server - Importar datos - Selección de tipo de datos

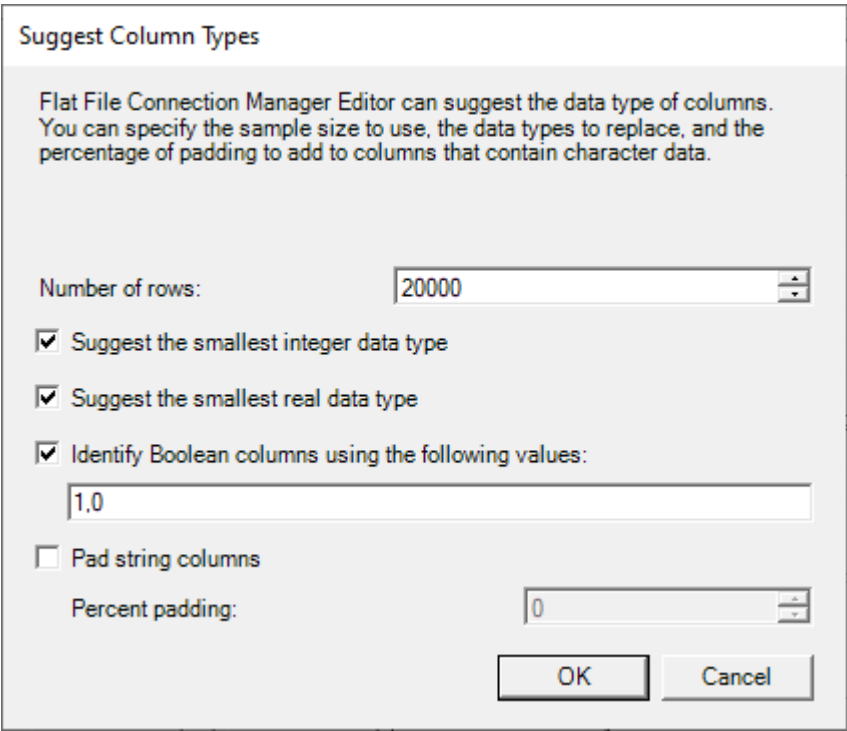


Ilustración 59 - SQL Server - Importar datos - Sugerir tipo de datos

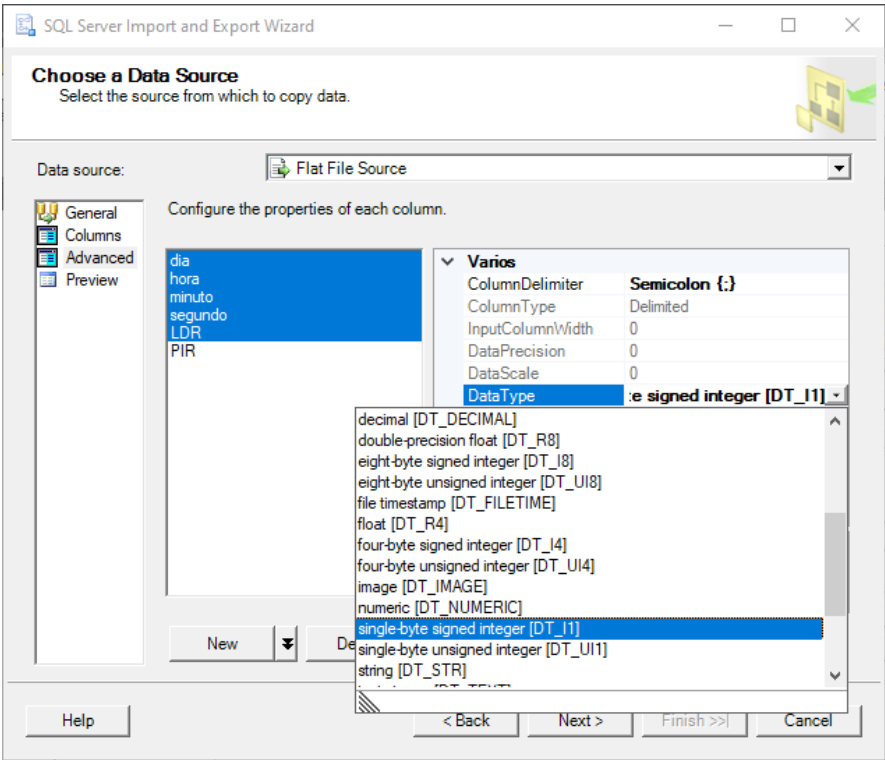


Ilustración 60 - SQL Server - Importar datos - Confirmar datos de tipo entero de un solo byte

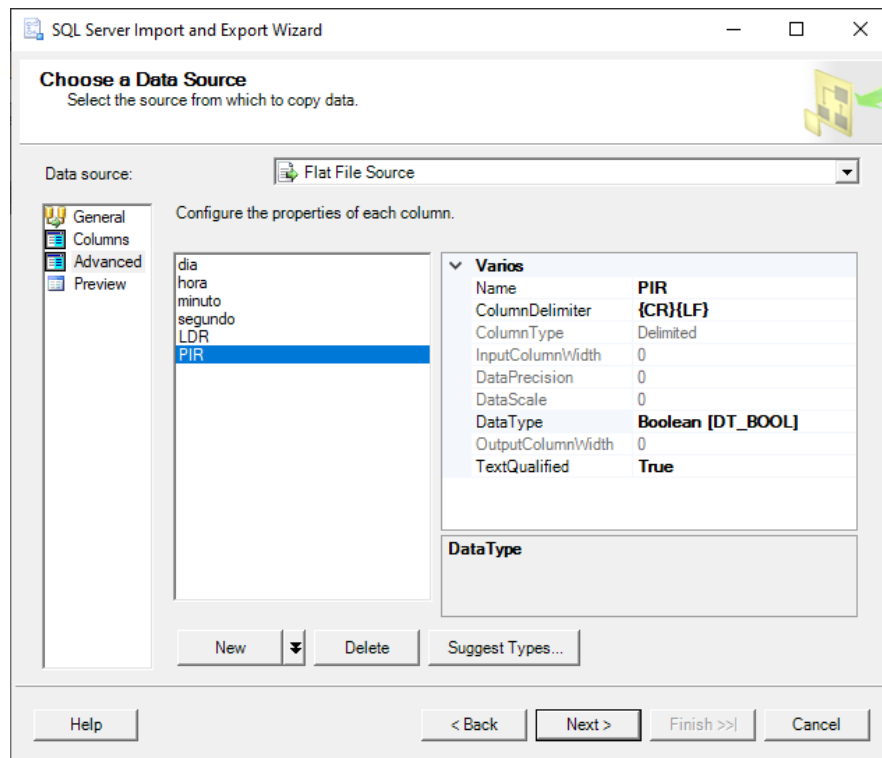


Ilustración 61 - SQL Server - Importar datos - Selección de dato Booleano para el PIR

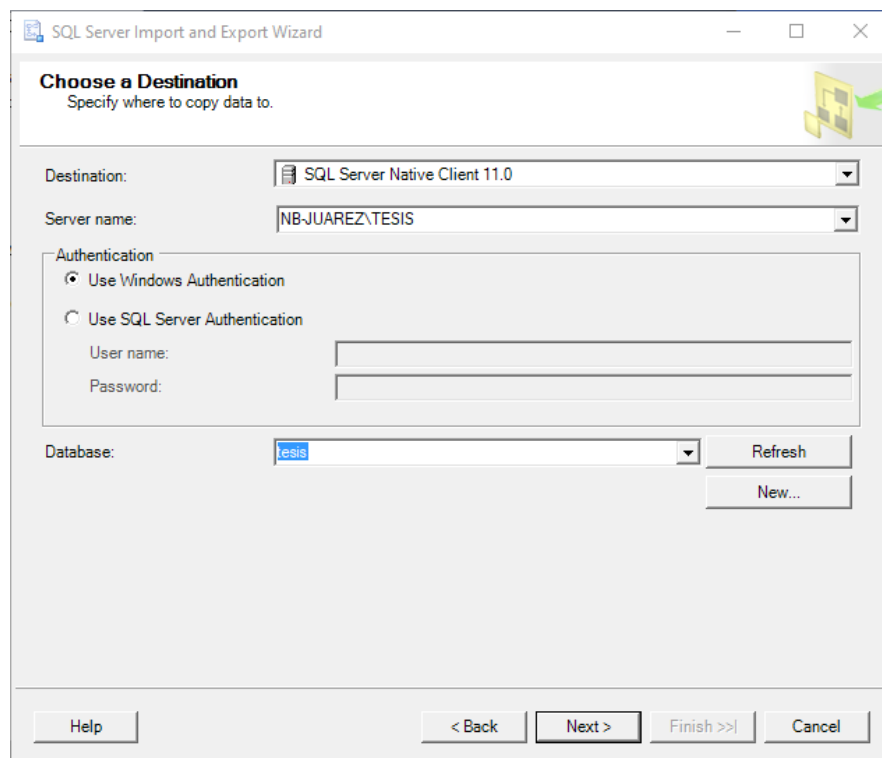


Ilustración 62 - SQL Server - Importar datos - Selección del destino de los datos

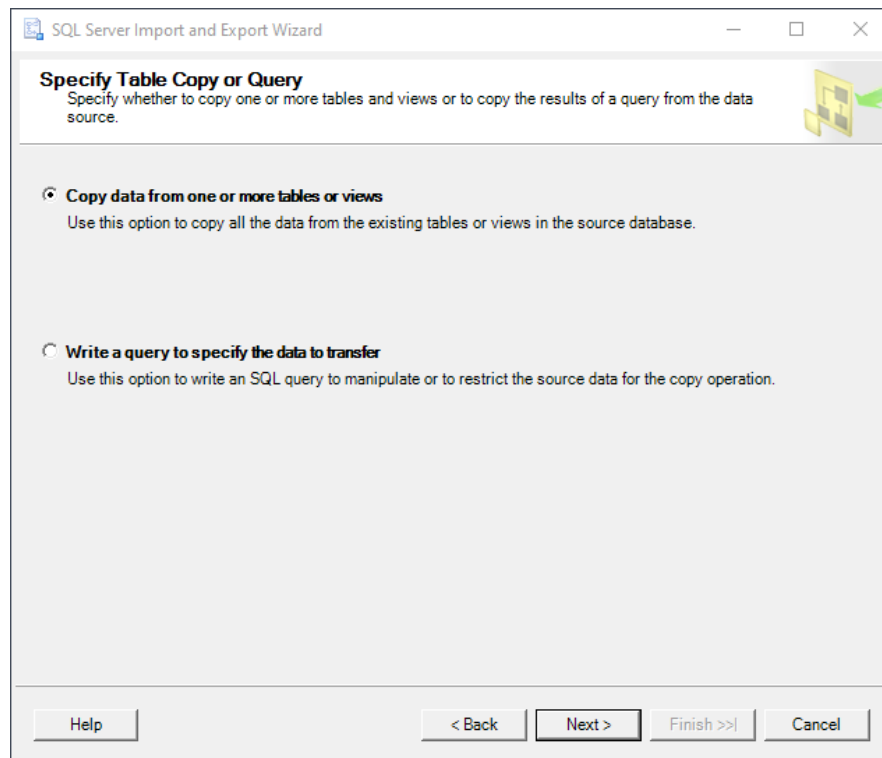


Ilustración 63 - SQL Server - Importar datos - Copiar datos directamente a una base de datos

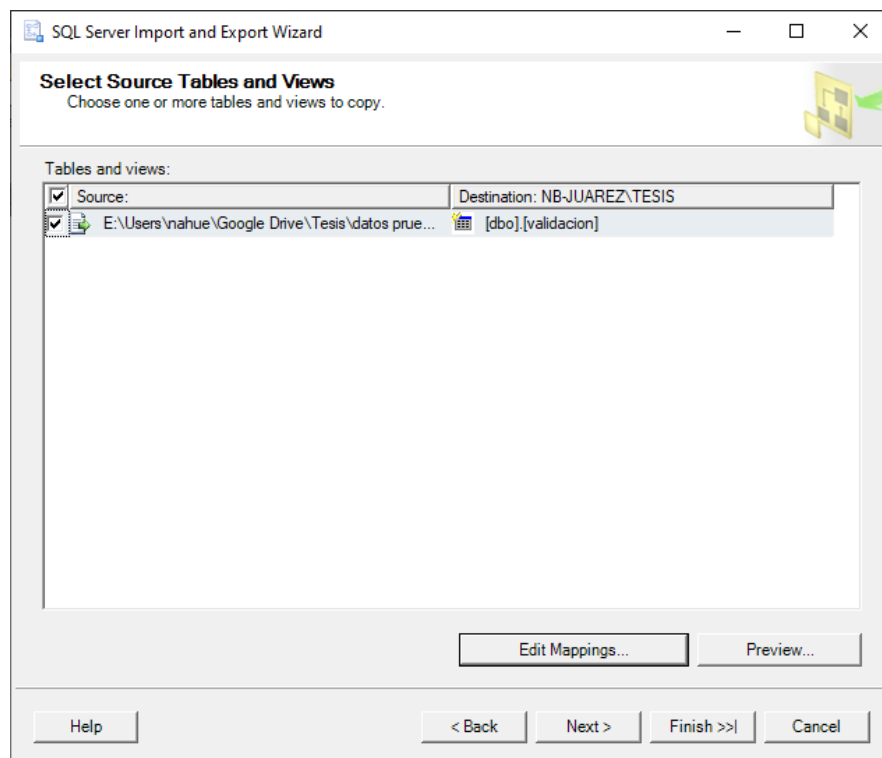


Ilustración 64 - SQL Server - Importar datos - Seleccionar tabla de destino

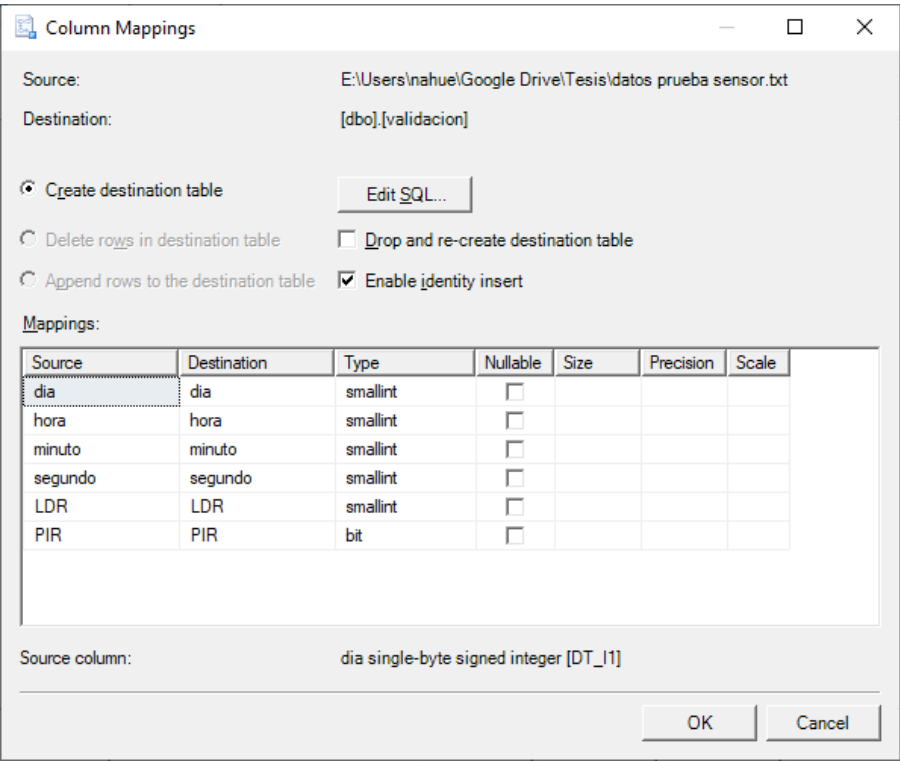


Ilustración 65 - SQL Server - Importar datos - Confirmar tipo de datos de la tabla

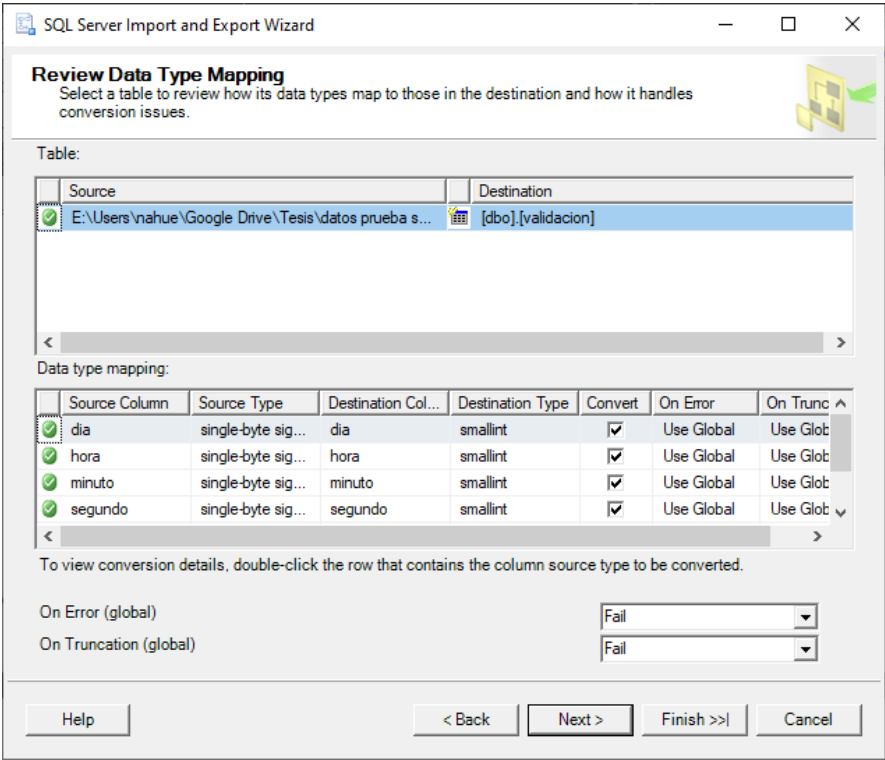
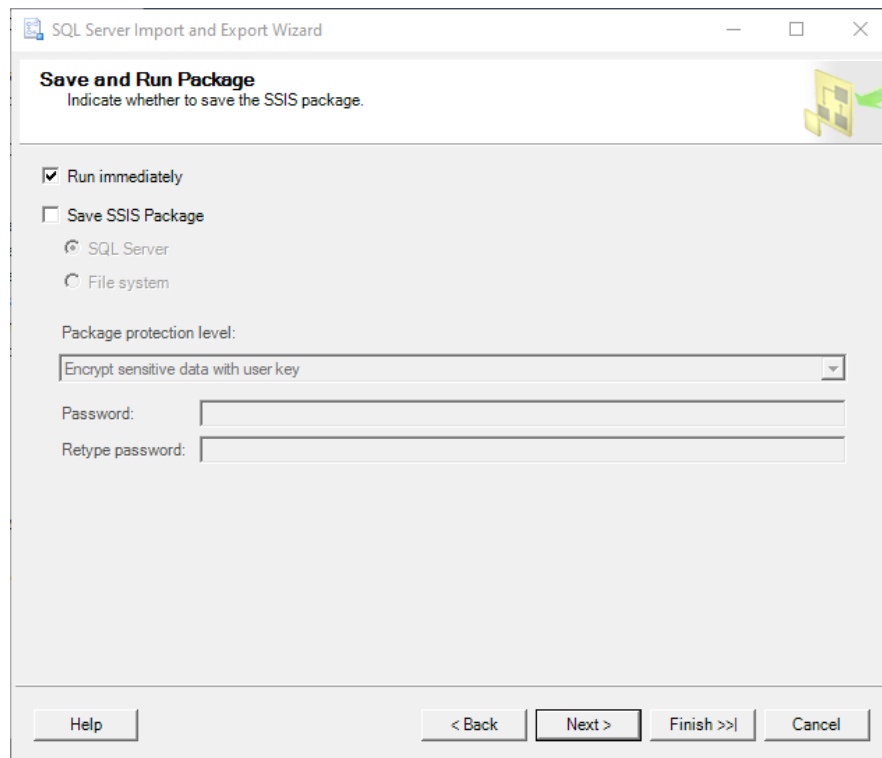
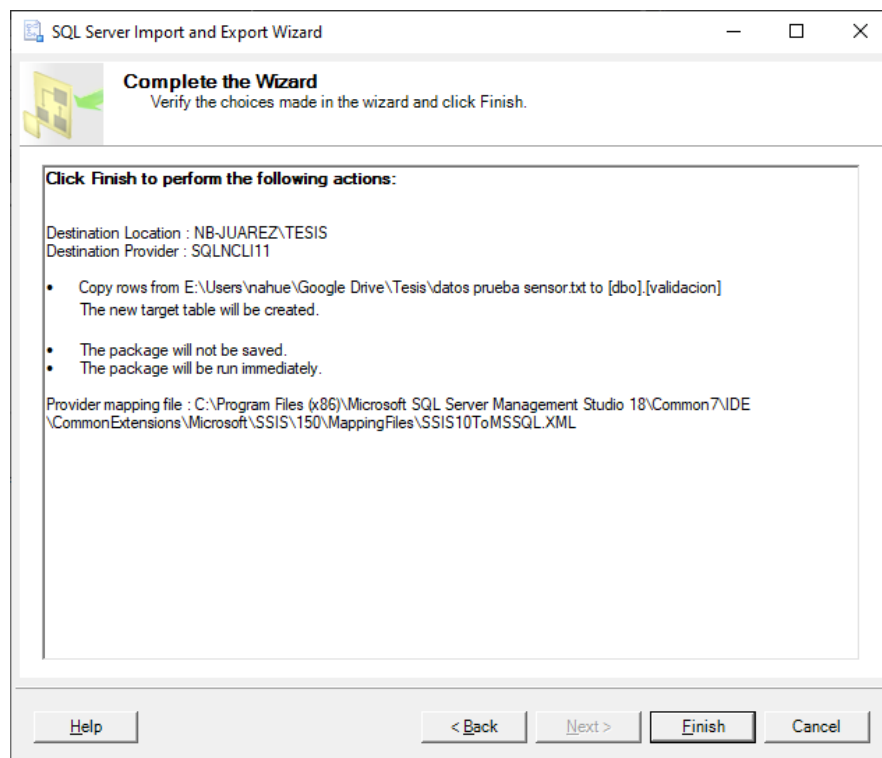


Ilustración 66 - SQL Server - Importar datos - Resumen de tablas pre-importación

*Ilustración 67 - SQL Server - Importar datos - Ejecutar inmediatamente**Ilustración 68 - SQL Server - Importar datos - Resumen pre-importación*

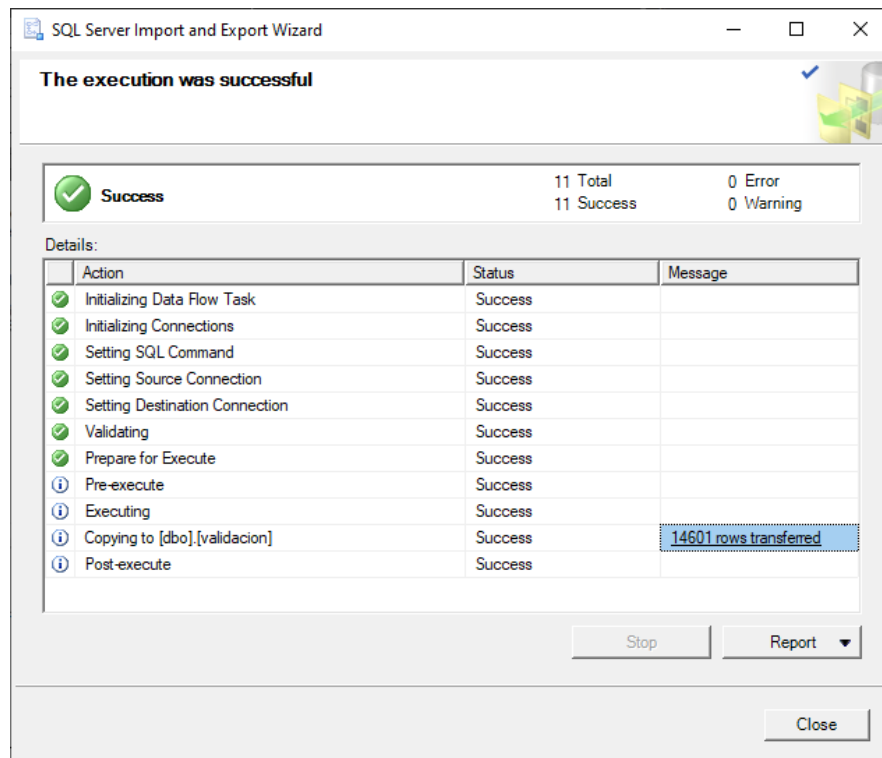


Ilustración 69 - SQL Server - Importar datos - Importación finalizada

Una vez importada la información de la SD, esta será preparada de tal manera que se tenga, en lugar de las columnas de datos de tiempo, una columna con la fecha y hora completa y una columna con la duración en segundos entre los distintos momentos de recolección de datos.

Para lograr esto, lo primero que se hará será crear un campo llamado fecha del tipo datetime. Este campo permitirá tener la fecha y hora expresadas en un tipo de dato manejable, en vez de en columnas separadas. Se le asignará la fecha inicial del estudio como default, Esto se conseguirá con la siguiente instrucción SQL:

```
ALTER TABLE [tesis].[dbo].[Validacion]
ADD FECHA DATETIME NOT NULL DEFAULT '2019-07-20 17:56'
```

Acto seguido, se actualizará el campo fecha, para reflejar la fecha y hora real en la que se hizo el estudio, esto se llevará a cabo con la siguiente instrucción SQL:

```
UPDATE [tesis].[dbo].[Validacion]
SET FECHA = DATEADD(SECOND, (segundo + (minuto*60) +
(hora*60*60) + (dia*24*60*60)), FECHA)
```

Para obtener datos más confiables, el sistema fue puesto en funcionamiento unos minutos antes de la hora establecida para darles el tiempo de warm up a los sensores, más que nada al PIR quien en los primeros momentos “aprende” las condiciones básicas del ambiente. Es por eso, que los datos previos a la hora de inicio serán eliminados. Se hará lo mismo con los datos obtenidos luego de la hora de finalización de la prueba, para evitar contaminación de los datos. Esto se llevará a cabo con la siguiente consulta SQL:

```
DELETE FROM [tesis].[dbo].[Validacion]
WHERE DATEPART(HOUR, fecha) < 18
or DATEPART(HOUR, fecha) > 21
```

En el caso de los datos de consumo, se llevará a cabo el mismo procedimiento utilizando como tiempo de inicio las 20 horas del día de inicio y como tiempo de corte, el mismo horario 30 días después. Esto se llevará a cabo con la siguiente sentencia SQL:

```
DELETE FROM [tesis].[dbo].[Datos]
WHERE fecha < '2019-07-25 20:00:00.000'
OR fecha > '2019-08-24 20:00:00.000'
```

Luego, se agregará una columna ID con la propiedad Identity(1,1) y asignarle el rol de clave primaria. Esto permitirá que cada dato tenga su respectivo identificador único. Esto se realizará con la siguiente instrucción SQL

```
ALTER TABLE [tesis].[dbo].[Validacion]
ADD ID INT NOT NULL IDENTITY(1,1) PRIMARY KEY
```

Puede ocurrir, que durante el proceso de importación no permite importar la columna de los datos del PIR con el tipo de datos Bit, por lo tanto, los datos deberán ser importados en el formato que lo permita y hacer lo siguiente para cambiarla a Bit:

```
ALTER TABLE [tesis].[dbo].[Validacion]
ALTER COLUMN [PIR] BIT NOT NULL
```

Con esta columna actualizada, los datos del tiempo ya no son necesarios, por lo que podemos eliminar estas columnas con la siguiente instrucción SQL:

```
ALTER TABLE [tesis].[dbo].[Validacion]
DROP COLUMN segundo, minuto, hora, día
```

Para la validación de sensores, este proceso terminaría con la sentencia anterior, sin embargo, en el caso de los datos de consumo, una vez esté completada la actualización de la tabla, serviría calcular que duración tuvo cada toma de datos, para ello, crearemos una columna llamada duracion donde se calculará la diferencia de tiempo entre la fila anterior y la actual. Este proceso se ejecutará con la siguiente instrucción SQL para crear la columna

```
ALTER TABLE [tesis].[dbo].[Validacion]
ADD Duracion TINYINT NOT NULL DEFAULT 0
```

Y esta para el cálculo de la duración:

```
UPDATE Datos2
SET duracion = DATEDIFF(SECOND,Datos.fecha,Datos2.FECHA)
FROM [tesis].[dbo].[Datos] Datos
INNER JOIN [tesis].[dbo].[Datos] Datos2
ON Datos.id = (Datos2.id-1)
```

El resultado final se verá de la siguiente manera:

LDR	PIR	Fecha	ID	duracion
70	1	10/7/2019 18:29:00	1	0
68	1	10/7/2019 18:29:01	2	1

Tabla 10 - Datos formateados

Anexo 7 - Calculo del consumo eléctrico del sistema

Para medir el consumo real del circuito se deberá usar un tester o multímetro. El circuito deberá armarse de la siguiente manera:

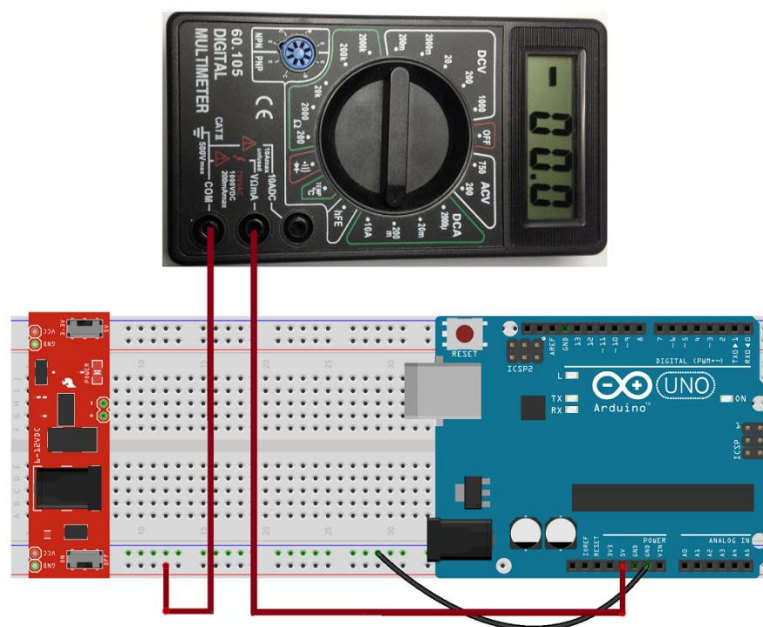


Ilustración 70 - Circuito para cálculo de consumo

Para alimentar el circuito se usará una fuente de protoboard porque, de esa manera, se puede medir el consumo a través de la protoboard sin necesidad de pelar cables ni romper conectores.

Antes de encender la fuente, deberemos conectar los pines de 5V y GND del arduino a la protoboard, y el multímetro en serie como aparece en la Ilustración 70 para que la corriente lo atraviese y así pueda ser medida. Una de las puntas de medida del tester deberá estar en la entrada COM y la otra en la entrada que tenga mA en su nombre.

Una vez conectado el circuito, deberá encenderse el multímetro seleccionando el fondo de escala en 200mA y encender la fuente de protoboard. Esto provocará que el arduino se encienda, y podamos ver en la pantalla el consumo instantáneo del sistema