

Universidad Acción Pro Educación y Cultura



Decanato de Ingeniería e Informática
Escuela de Ingeniería

Tesis de Grado para Optar por el Título de:
Ingeniero Electrónico Mención Comunicación

**“DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO DE
SUPERVISIÓN DE PARÁMETROS DE UN
CUARTO LIMPIO”**

Sustentante:

Tnlgo. Emmanuel Alberto Morel Linares

2011-1592

Asesor:

Ing. Porfirio Sánchez

Distrito Nacional
República Dominicana
Abril del 2017

**LOS CONCEPTOS EXPUESTOS EN ESTA INVESTIGACIÓN SON DE LA
EXCLUSIVA RESPONSABILIDAD DE SU(S) AUTOR(ES).**

AGRADECIMIENTOS

Le tengo que dar muchas gracias a Dios por darme fuerzas y permitirme terminar este largo proceso y etapa profesional de mi vida, además sin dejar atrás el gran apoyo y ayuda recibida por parte de mi familia tanto de mis padres (Altagracia Linares y Ramón Morel) como de mis hermanos (Yasiris y Javier), gracias por estar conmigo, darme sus recomendaciones, ayudarme en los momentos más difíciles y ser un soporte de que todo se puede lograr con fe, esfuerzo y dedicación.

Gracias a mi asesor Porfirio Sánchez por todos sus conocimientos ofrecidos, por el tiempo dedicado a guiarme en todo este proceso y ofrecerme los medios para alcanzar los objetivos de este proyecto. Gracias a mis compañeros de estudio que estuvieron conmigo a final de la carrera, (Jimmy Hilario, Reynaldo Hernández, Franlismar Marte, Agustín Asencio, William Mejía y Genaro Mercedes) que aunque estuve desarrollando mi proyecto de grado individual, como quiera ellos aportaron su granito de arena en lo que necesitaba durante este proceso. A la empresa Hospira, y a todo el equipo que la conforma, que me ayudó a relacionar y comprender muchas de las cosas en torno a mis estudios y por ampliar mis conocimientos a nuevos campos profesionales, fue el punto de partida del desarrollo de mi tema de proyecto.

También no sin dejar al grupo de docentes y profesores de la Escuela de Ingeniería de APEC, por la formación y conocimiento proporcionados y a mis amigos y amigas del grupo de jóvenes de la Pastoral Juvenil (Unidos por el Amor de Jesús), por acompañarme y apoyarme en esta etapa.

EMMANUEL A. MOREL LINARES

RESUMEN

El proyecto a presentar tiene como título “diseño de un sistema automático de supervisión de parámetros de un cuarto limpio” esta idea se originó a causa de la necesidad de optimizar el proceso de supervisión de los cuartos limpios de una empresa. Se observó que el técnico encargado de darle mantenimiento y soporte tenía que frecuentar en varias ocasiones el área para anotar las condiciones que estaban en ese momento, además se daba el caso de que en ausencia del personal responsable el área limpia podría salirse de control de sus parámetros (temperatura, humedad relativa, Presión diferencial y nivel de particulado) por alguna eventualidad de los equipos y al momento de darse cuenta del evento, ya sería muy tarde para ajustar los parámetros, provocando pérdidas monetarias por la contaminación del producto dentro del área.

Cabe decir que el tiempo límite de holgura para mantener los parámetros bajo control es de 30 minutos, si es excedido este tiempo teniendo los parámetros fuera del rango validado, todas la producción y manufactura dentro del área se tiene que eliminar a causa de que ya se considera contaminada, y con este proyecto se logra tener una supervisión continua y en tiempo real de los parámetro del cuarto limpio, además de alerta cuando se está por salir de control esos valores, ofreciéndole tiempo al personal responsable de actuar ante la situación o eventualidad, también tiene la capacidad de almacenar los registros medidos para futuras revisión de las condiciones de las área limpias a controlar.

Este proyecto está enfocado a los cuartos limpio de la empresa de Hospira (empresa de manufactura de dispositivos médicos “Medical Devices”), ubicado en el Parque Industrial de ITABO, Haina, San Cristóbal. Se realizaron pruebas dentro de un cuarto limpio controlado y se comparó las mediciones que resultaban del proyecto con las mediciones de dispositivos de anteriormente calibrados, como chart recorders y medidores de temperatura y humedad relativa.

INDICE

| | |
|---|-----------|
| INDICE | 1 |
| INTRODUCCION | 4 |
| 1. CONCEPTOS GENERALES: | 6 |
| 1.1. BREVE HISTORIA DEL ORIGEN DE LOS CUARTOS LIMPIOS: | 6 |
| 1.1.1. INICIO DE LA TECNOLOGÍA DE LOS CUARTOS LIMPIOS: | 7 |
| 1.1.2. POSICIONAMIENTO A NIVEL MUNDIAL DE LOS CUARTOS LIMPIOS | 8 |
| 1.2. TIPOS DE CUARTOS LIMPIOS Y SU ENFOQUE HACIA DIFERENTES | |
| ÁREAS INDUSTRIALES: | 11 |
| 1.2.1. CLASES DE INDUSTRIASQUE UTILIZANCUARTOS LIMPIOS. | 11 |
| 1.2.2. CLASES DE CUARTOS LIMPIOS: | 14 |
| 1.2.2.1. Cuartos de flujo de aire unidireccional o laminar. | 16 |
| 1.2.2.2. Cuartos de Flujo de aire No-unidireccional o Turbulento. | 17 |
| 1.2.2.3. Cuartos de Flujo de Aire Mixto. | 18 |
| 1.2.2.4. Cuartos de Flujo de Microambiente. | 19 |
| 1.2.3. CAMBIOS DE AIRE DE LOS CUARTOS LIMPIOS: | 19 |
| 1.3. NORMATIVAS EXISTENTES MUNDIALMENTE QUE RIGEN LOS TIPOS | |
| DE CUARTO LIMPIOS. | 20 |
| 1.3.1. Ambientes que utilizan cuartos limpios y su relación con las normas: | 22 |
| 1.3.2. Comparación de la normativa para cuartos limpios ISO TC209 14644-1 con la | |
| especificación federal, US Federal Standard 209E. | 23 |
| 1.3.3. Significado las clases de la especificación de los cuartos limpios: | 24 |
| 1.3.4. Un Cuarto Limpio debe de cumplir con lo siguiente, conforme a las normas ISO14644- | |
| 1:1999E, IEST-RP-CC-012.1 y Federal 209 E, son las siguientes: | 24 |
| 1.4. TECNOLOGÍA A IMPLEMENTAR PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LAS | |
| ÁREAS LIMPIAS | 25 |
| 2. CARACTERISTICAS DEL CUARTO LIMPIO: | 29 |

| | |
|--|-----------|
| 2.1. ESPECIFICAR EL TIPO DE INDUSTRIA O APLICACIÓN DONDE SE VA A REALIZAR EL PROYECTO: | 29 |
| 2.2. IDENTIFICAR LAS CONDICIONES INTERNAS DE TEMPERATURA, HUMEDAD RELATIVA, PRESIÓN DIFERENCIAL Y NIVEL DE PARTICULADO A CONTROLAR: | 31 |
| 2.2.1. RELACIÓN HUMEDAD RELATIVA Y TEMPERATURA: | 36 |
| 2.2.2. REGISTRO DE PARÁMETROS DEL CUARTO LIMPIO: | 37 |
| 2.2.2.1. Registrador Gráfico Circular: | 40 |
| 2.2.2.2. Registradores Gráficos Híbridos | 41 |
| 2.2.2.3. Registradores Gráficos sin Papel | 42 |
| 2.2.3. SUPERVISION DIARIA DE LAS AREAS CONTROLADAS: | 42 |
| 2.2.3.1. Cierre de un área activa. | 44 |
| 2.2.4. REEMPLAZO DE LOS CHARTS. | 45 |
| 2.3. ANALIZAR LAS CONDICIONES MÁS EXTREMAS QUE SE PUE DAN PRESENTAR EN UN PERÍODO NO MENOS A 24 HORAS: | 46 |
| Un deficiente control de humedad de cuartos limpios puede incidir en: | 46 |
| 2.3.1.1. Detección de las fuentes de emisión y cómo controlarlas: | 48 |
| 2.3.1.2. Controlando al Enemigo Invisible | 49 |
| 3. DISEÑO DEL SISTEMA AUTOMATIZADO | 51 |
| 3.1. PLANTEAMIENTO DE LA PROPUESTA DE DISEÑO | 51 |
| 3.2. SELECCIÓN DE LOS EQUIPOS Y COMPONENTES ACORDE CON EL TIPO DE ÁREA. | 52 |
| 3.2.1. ¿QUÉ ES ARDUINO? | 52 |
| 3.2.1.1. Evolución del Arduino: | 54 |
| 3.2.1.1. Familia y Tipos De Arduino: | 56 |
| 3.2.2. ARDUINO UNO: | 58 |
| 3.2.2.1. Especificaciones Técnicas: | 59 |
| 3.2.2.2. Componentes del Arduino UNO: | 60 |
| 3.2.2.3. Microcontrolador ATmega16u2 en Arduino UNO: | 61 |
| 3.2.2.4. Esquemático Arduino UNO R3: | 62 |
| 3.2.2.5. ¿Cómo Funciona La Plataforma Arduino? | 65 |
| 3.2.2.6. Familia Microcontroladores Atmel: | 68 |

| | |
|--|------------|
| 3.2.2.7. Software: | 71 |
| 3.2.2.8. Comunicación: | 73 |
| 3.2.2.9. Ventajas de utilizar Arduino: | 76 |
| Costos | 76 |
| Disponibilidad | 77 |
| Flexibilidad | 77 |
| 3.2.3. SENSOR DE HUMEDAD Y TEMPERATURA (DHT11): | 78 |
| 3.2.3.1. Especificaciones Técnicas: | 79 |
| 3.2.3.2. Conexión con Arduino UNO: | 81 |
| 3.2.3.3. Pinout DHT11: | 82 |
| 3.2.3.4. Proceso de Comunicación y Transmisión de datos del DHT11: | 83 |
| 3.2.4. SENSOR DE PRESION DIFERENCIAL (MPX4250): | 84 |
| 3.2.4.1. Rango de Operación (MPX4250): | 85 |
| 3.2.4.2. Pinout Sensor Presión MPX4250: | 86 |
| 3.2.4.3. Función de transferencia del MPX4250: | 88 |
| 3.2.4.4. Conectando el MPX4250 con el Arduino UNO: | 89 |
| 3.2.5. SENSOR DE PARTICULADO (SHARP DUST SENSOR GP2Y1010AU0F): | 91 |
| 3.2.5.1. Pinout Sensor Particulado GP2Y1010AU0F: | 92 |
| 3.2.5.2. Conectando el GP2Y1010AU0F con el Arduino UNO: | 93 |
| 3.3. DISEÑO DEL SISTEMA AUTOMÁTICO DE SUPERVISIÓN DE CUARTO | |
| LIMPIO | 94 |
| 3.3.1. PRUEBA DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA: | 97 |
| 3.3.2. LABVIEW: | 102 |
| 3.3.3. CONFIGURACIÓN SENSORES HACIA ARDUINO Y LABVIEW: | 106 |
| 3.3.3.1. Bloque De Temperatura y Humedad Relativa: | 108 |
| 3.3.3.2. Bloque De Presión Diferencial: | 114 |
| 3.3.3.3. Bloque Nivel Particulado Labview: | 118 |
| 3.3.4. VALIDACION DE LOS RESULTADOS DEL SISTEMA: | 124 |
| CONCLUSION | 131 |
| RECOMENDACIONES | 132 |
| BIBLIOGRAFIA | 133 |
| ANEXOS | 137 |

INTRODUCCION

En la actualidad muchas empresas requieren del uso de los cuartos limpios para fabricar sus productos con altos índices de calidad y libre de contaminación. Un cuarto limpio es un área controlada, dentro ella se mantienen los parámetros de temperatura, humedad relativa, presión diferencial y el nivel de particulado bajo un rango validado y controlado para evitar la generación de microbios y contaminación dentro del mismo.

El punto importante es la de mantener en óptimas condiciones el cuarto limpio y para lograrlo se requiere de su supervisión continua, pues si uno de estos parámetros se sale de su rango, toda la producción queda contaminada y debe ser eliminada inmediata esto provoca grandes pérdidas monetarias a la industria.

Para evitar este tipo de situaciones se tiene como solución diseñar un sistema que supervise los parámetros de temperatura, humedad y particulado del cuarto limpio y lo realice en tiempo real y constante y alertará al personal cuando se salga de los rangos máximos permitidos.

CAPITULO 1

1. CONCEPTOS GENERALES:

1.1. BREVE HISTORIA DEL ORIGEN DE LOS CUARTOS LIMPIOS:

En 1945, la necesidad de hacer pruebas a los filtros de las máscaras de gas con relación a las partículas y los materiales biológicos que deberían filtrar, llevo al desarrollo de contadores de partículas dispersas en el ambiente.

Posteriormente se desarrolló el filtro HEPA, esto se logró en los laboratorios SANDIA, a solicitud de la comisión de energía atómica después de la segunda guerra mundial. Partículas nucleares que habrían sido mortales para el personal fueron aisladas en áreas de procesos con filtros HEPA mientras se permitía el aire circular en ellos. (s.I., 2007)

Willis Whitfield fue pionero en el campo de limpieza para realizar trabajo limpio en espacios reducidos. Finalmente la era espacial con sus requerimientos de limpieza promovió la tecnología de control de contaminación. En los años 60s se escribieron documentos como FED STD 209^a, NASA SP-5045, “Contamination Control Handbook “, NASA SP-4074, “Clean Room Technology”, NASA SP-5045, “contamination control principles” y “AF-TO-00-25- 203, “Contamination control of aerospace facilities, US Air Force”. Estos documentos contienen principios que aún hoy son relevantes. (s.I., 2007)

La norma ISO/TC209 14644-1 es la designación internacional de la limpieza de un cuarto limpio e incorpora las unidades métricas utilizadas en otras partes del mundo. Por lo

dicho es fundamental contar con un sistema certificado de acondicionamiento de aire y ventilación, que garantice un ambiente seguro para el paciente, los trabajadores y los visitantes.

1.1.1. INICIO DE LA TECNOLOGÍA DE LOS CUARTOS LIMPIOS:

Los hospitales y laboratorios farmacéuticos siempre han considerado que el aire limpio es esencial para el desarrollo de sus actividades, pero su principal preocupación es la esterilidad. Sus normas de aire limpio se fijaron hace tiempo en la filtración del aire de partículas de 5 micras y mayores, actualmente esto se ha redefinido y se requiere la filtración de partículas de 0.5 micras y de .03 para condiciones especiales. (HVACR, 2009)

Actualmente en el sector salud, la preocupación es sobre la prevención y el control de las infecciones nosocomiales y la bioseguridad en áreas quirúrgicas. (HVACR, 2009)

Asimismo, a principios de los años 60, la industria aeroespacial comenzó a identificar partículas submicrónicas como la causa de contaminación y afectación principal en sus procesos y lo más grave, fallas en sus aparatos de uso. (HVACR, 2009)

Los cuartos limpios son especiales e inicialmente tratados en el estándar federal 209 de los Estados Unidos de América, una biblia de la industria; la Australian Standard AS1386; la British Standard BS5295; la ISO 14644-1 y SI. En México la NOM 059SSA1-2006, describe y clasifica los niveles de limpieza de manera equivalente. (HVACR, 2009)

1.1.2. POSICIONAMIENTO A NIVEL MUNDIAL DE LOS CUARTOS LIMPIOS

El mercado mundial de tecnología de salas limpias representó \$ 3,107.8 millones durante 2014, y se espera que crezca con un CAGR de 5.7% durante 2015-2020. El segmento de mercado de consumibles dominó el mercado mundial de tecnología de salas blancas durante el 2014, con una cuota del 53%; Mientras que, en el segmento de construcción, la sala limpia estándar representó la mayor proporción del 43% en el mercado mundial de tecnología Cleanroom durante el mismo año.

El mercado de tecnología de salas blancas está aumentando con una alta tasa de crecimiento debido a la creciente demanda de productos certificados, los avances tecnológicos en salas blancas y la mayor demanda de tecnología de salas blancas en los sectores de productos farmacéuticos, dispositivos médicos y biotecnología.

La creciente aceptación en los equipos para salas blancas y consumibles de salas limpias ha aumentado la demanda de tecnología para salas blancas. El mercado de consumibles de salas limpias creció con a nivel de tasa de crecimiento de 5,6% durante 2011-2014. Por su parte, el mercado de hardroom de salas blancas creció con un CAGR del 5,8% durante 2011-2014.

Las salas blancas están en gran demanda dentro de la industria farmacéutica, biotecnológica y de dispositivos médicos. Varios productos farmacéuticos, tales como vacunas, inyecciones y ungüentos, y dispositivos médicos tales como implantes y equipo

quirúrgico necesitan ser preparados en un ambiente que está libre de microbios y partículas. Las salas limpias ofrecen condiciones ambientales adecuadas al disminuir el nivel de contaminantes, tales como polvo, vapores químicos, microbios y partículas de aerosol. Tales condiciones pueden prepararse sólo en salas limpias.

Varias legislaciones han sido aprobadas en todo el mundo, con respecto a la fabricación de dispositivos médicos en salas limpias. Estas legislaciones se centran en la fabricación de productos libres de contaminación, que pueden ser utilizados directamente para fines internos sin el riesgo de infección.

Los avances tecnológicos en el campo de la tecnología de salas limpias ayudan a mejorar la eficiencia de las salas limpias con la producción de productos estériles de mejor calidad. Ayuda a proporcionar un ambiente ideal para fabricar productos con bajos contaminantes. Los avances tecnológicos ayudan a superar los defectos en el diseño y flujo de trabajo de salas limpias, lo que está impulsando la demanda de salas limpias.

Las restricciones asociadas con el mercado global de tecnología de salas blancas incluyen el alto costo de equipos de sala limpia tales como filtros HEPA, unidades de filtro de ventilador, sistemas HVAC, sistemas de flujo de aire laminar, gabinetes de seguridad biológica y duchas de aire y falta de personal calificado y calificado personal. Trabajar en salas limpias es una tarea compleja que requiere profesionales capacitados para llevar a cabo las operaciones de manera efectiva. Los profesionales que trabajan en salas limpias

deben seguir ciertas instrucciones. Además, requieren habilidades adecuadas para trabajar y mantener las condiciones ambientales en salas limpias.

Cobertura del Informe

Proporciona comprensión del mercado con la ayuda de perspectivas informadas del mercado, oportunidades, desafíos, tendencias, tamaño y (RMH, 2005) crecimiento, análisis competitivo, competidores principales y análisis de Porter.

Identifica los principales impulsores del crecimiento y los retos de los principales actores de la industria. Además, evalúa el impacto futuro de los proponentes y las restricciones en el mercado. Descubre las demandas potenciales en el mercado y el análisis Porter identifica fuerzas competitivas dentro del mismo. Incluso proporciona información sobre el tamaño histórico, actual y potencial futuro del mercado

Suministra tamaños de los principales mercados regionales utilizando criterios de segmentos, aplicaciones y segmentos de aplicaciones. Destaca el escenario competitivo del mercado, los principales competidores y el benchmarking; Proporciona perfiles de los principales competidores del mercado, incluyendo detalles de sus operaciones, productos y servicios, desarrollos recientes y métricas financieras clave. Perfiles proporcionan una mejor comprensión de la competencia, así como las demandas del mercado.

1.2. TIPOS DE CUARTOS LIMPIOS Y SU ENFOQUE HACIA DIFERENTES ÁREAS INDUSTRIALES:

Un cuarto limpio es un recinto donde el tamaño, la cantidad de partículas, la temperatura y el nivel de humedad se encuentra dentro de unos parámetros establecidos, de acuerdo a la necesidad de la industria en cuestión.

La operación básica de un Cuarto Limpio está relacionada con el filtrado de la gran cantidad de partículas que entran en el área limpia. Adicionalmente al proceso de filtrado, el Cuarto Limpio debe estar completamente aislado del ambiente de sus alrededores. Esto se puede llevar a cabo presurizando el cuarto, para que sea mayor la presión dentro del área que la del ambiente de sus alrededores. (RMH, 2005)

1.2.1. CLASES DE INDUSTRIAS QUE UTILIZAN CUARTOS LIMPIOS.

En la figura 1, se muestra una selección de productos que ahora se están fabricando en cuartos limpios, o que requieren facilidades de control de contaminación; además de mostrar el porcentaje de demanda de esos cuartos limpios.

Los diferentes tipos de industrias que usan los cuartos limpios se agrupan de la siguiente manera: Industria Electrónica, Industria Médica y Farmacéutica y Otras Aplicaciones. Estas industrias son las que tienen una mayor demanda de este tipo de ambiente.

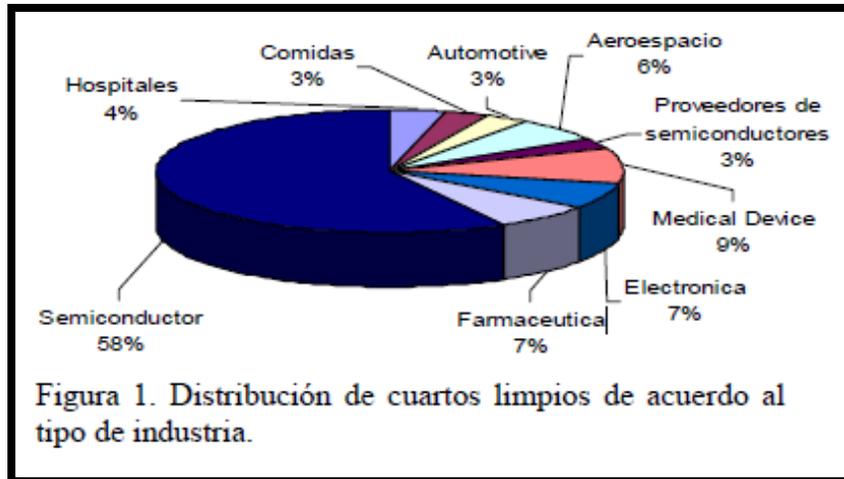


Figura 1. Distribución de cuartos limpios de acuerdo al tipo de industria
Fuente: (Metodología para el Diseño de Cuartos Limpios, 2008)

Industria Electrónica.

En este tipo de industria se pueden distinguir dos tipos de usos para los cuartos limpios; el relacionado a los procesos de fabricación y el de los procesos de investigación y desarrollo de nuevos productos. Entre estos podemos distinguir:

- Manufactura de Semiconductores
- Manufactura de Discos y Pantallas
- Investigación y Desarrollo de nuevos productos (RMH, 2005)

Industria Médica y Farmacéutica

Al igual que en la industria de la electrónica, tanto en el sector médico como en el farmacéutico los usos de los cuartos limpios se dividen en dos sectores, el sector de la

producción de dispositivos médicos y fármacos y el sector de investigación y desarrollo de nuevos dispositivos y sustancias. Entre estos podemos destacar:

- Áreas para Manufactura y Empaque de Medicinas o Insumos Médicos.
- Cuartos para hospitales que realizan Cirugías. (RMH, 2005)
- Laboratorios para Investigación Médica. (RMH, 2005)
- Laboratorios para Investigación y Desarrollo de Nuevos Productos. (RMH, 2005)

Otras Aplicaciones y/o Áreas:

Otras Aplicaciones de los cuartos limpios se dan en el sector de los alimentos procesados, el automotriz, óptica y laser y ciencias de los materiales, como por ejemplo se tienen:

- Áreas de Procesamiento y Empaque de Comida.
- Módulos de Pintura Automotriz.
- Industria Óptica/Laser.
- Espacios para Investigación de Materiales Avanzados. (RMH, 2005)

A partir de esta clasificación y de los porcentajes anteriormente mostrados de las diferentes áreas cabe destacar que la mayor cantidad de áreas limpias la posee las industrias de los semiconductores, incluso la misma exige una demanda mayor de requerimientos de

control de particulado, de humedad y temperatura que otras fábricas industriales, esto debido a lo delicado que es fabricar por ejemplo un microprocesador o un disco duro.

Como segundo lugar la integran las industrias de dispositivos médicos (Medical Devices), las cuales ensamblan y empaquetan productos que son usados para el tratamiento de los pacientes en los hospitales y clínicas, los mismos son tan críticos que pueden poner en riesgo la vida de las personas; por tal razón requieren de un buen control de los microbios y micro partículas circundantes dentro del cuarto limpio.

1.2.2. CLASES DE CUARTOS LIMPIOS:

Para clasificar de manera correcta los Cuartos Limpios (o como además se le denominan: Salas Blancas, Salas Limpias, Áreas Limpias o Clean Rooms) es necesario observar la limpieza del aire y/o niveles de partículas suspendidas en él y también el tipo de flujo de aire que circula dentro del mismo. (Inversiones Abaco LTDA, 2011) Aparte de los controles anteriormente mencionados, existe además el control del nivel de particulado que es el método más aplicado y utilizado actualmente en los cuartos. (Inversiones Abaco LTDA, 2011)

Una de las clasificaciones más importantes es la que divide los tipos de cuartos limpios con respecto a la concentración de partículas en suspensión en el aire de las salas limpias; la clasificación cumple y está de acuerdo por la Normativa Internacional ISO,

específicamente la norma ISO TC209 14644-1 que es la designación internacional de la limpieza de un cuarto limpio. (Inversiones Abaco LTDA, 2011)

En la tabla siguiente se muestra la clasificación de las salas limpias de acuerdo con la ISO TC209 14644-1, la unidad de medida utilizada es el metro cubico y es la aceptada oficialmente a nivel mundial en estos momentos:

| Sistema Inglés | Partículas por metro cúbico de Aire | 0.1µm | 0.2µm | 0.3µm | 0.5µm | 1µm | 5µm |
|-----------------------|-------------------------------------|-----------|---------|---------|-----------|-----------|---------|
| | ISO 1 | 10 | 2 | | | | |
| | ISO 2 | 100 | 24 | 10 | 4 | | |
| 1 | ISO 3 | 1.000 | 237 | 102 | 35 | 8 | |
| 10 | ISO 4 | 10.000 | 2.370 | 1.020 | 352 | 83 | |
| 100 | ISO 5 | 100.000 | 23.700 | 10.200 | 3.520 | 832 | 29 |
| 1.000 | ISO 6 | 1.000.000 | 237.000 | 102.000 | 35.200 | 8.320 | 293 |
| 10.000 | ISO 7 | | | | 352.000 | 83.200 | 2.930 |
| 100.000 | ISO 8 | | | | 3.520.000 | 832.000 | 29.300 |
| | ISO 9 | | | | 3.520.000 | 8.320.000 | 293.000 |

Tabla 1. Clasificación Cuartos Limpios ISO TC209 14644-1.

Fuente: (Inversiones Abaco LTDA, 2011)

Otras de las clasificaciones importantes que deben tener un área limpia es el tipo del flujo de aire dentro del cuarto. Existen diferentes modos en que fluye el aire y es dirigido dentro del área, y dependiendo de este flujo, es el comportamiento del asentamiento de las partículas y también el tiempo promedio para la extracción de las mismas.

Los tipos de flujo de aire de cuartos limpios se dividen en los siguientes: cuartos de flujo de aire unidireccional o laminar, cuartos de flujo de aire turbulento o no-unidireccional, cuartos de flujo de aire mixtos y cuartos de flujo de aire de micro-ambiente.

1.2.2.1. Cuartos de flujo de aire unidireccional o laminar.

El flujo de aire laminar es utilizado cuando se requieren bajas concentraciones de partículas y bacterias en el aire. Este patrón de flujo de aire es en una dirección, usualmente horizontal o vertical, a una velocidad uniforme entre 0.3 y 4.5 metros por segundo y a través de todo el espacio. Clases 100 y más bajas tienen arreglos de flujo de aire unidireccional o laminar. (Inversiones Abaco LTDA, 2011)

La figura 2 y figura 3 muestran las líneas de flujo de aire del tipo unidireccional.

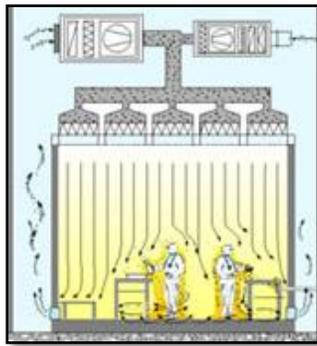


Figura 2. Líneas de flujo de aire tipo unidireccional
Fuente: (Inversiones Abaco LTDA, 2011)

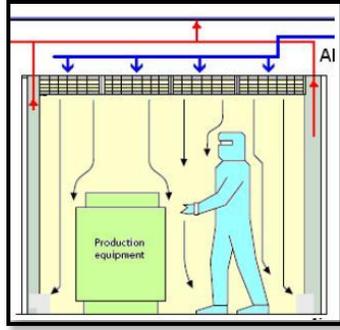


Figura 3. Líneas de flujo de aire tipo unidireccional
Fuente: (s.I., 2007)

1.2.2.2. Cuartos de Flujo de aire No-unidireccional o Turbulento.

El tipo de área turbulento posee la característica de tener velocidad variante, circulación de múltiples pasos y dirección de flujo no paralelo. El flujo turbulento es muy utilizado en cuartos de clase 1000, 10000, 100.000 y tienen arreglos mezclados. Esta configuración siempre busca atrapar las partículas que están en el aire y las conduce hacia el piso donde entran a los filtros y de esta manera dejan el cuarto limpio. (RMH, 2005)

Un cuarto de flujo de aire turbulento típico se utiliza en oficinas, almacenes, etc., este tendría entre 2 y 10 cambios de aire por hora, pero ya dentro de un cuarto limpio estos manejarían entre 20 y 60 cambio de aire por hora. (Inversiones Abaco LTDA, 2011)

La figura 4 y figura 5 muestran un diagrama de un cuarto limpio simple ventilado convencionalmente.

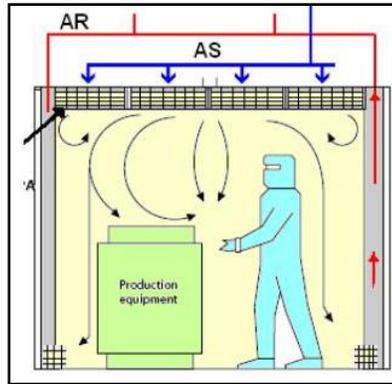


Figura 4. Diagrama de un cuarto limpio simple ventilado convencionalmente
Fuente: (Metodología para el Diseño de Cuartos Limpios, 2008)

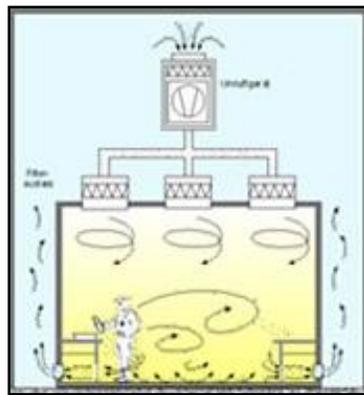


Figura 5. Diagrama de un cuarto limpio simple ventilado convencionalmente
Fuente: <http://es.augi.es/upload/apartat/salas-blancas.JPG>

1.2.2.3. Cuartos de Flujo de Aire Mixto.

Este tipo de cuarto limpio es ventilado de una forma convencional con excepción de áreas donde el producto sea expuesto a contaminación; en este caso, se utilizan cabinas con flujo unidireccional. Este tipo de flujo combina tanto Laminar como el modo Turbulento en áreas donde sea necesario. (Aconsulting, 2009)

1.2.2.4. Cuartos de Flujo de Microambiente.

Se utilizan dentro de un cuarto limpio para garantizar la máxima protección contra la contaminación mediante la implementación combinada del Flujo de aire turbulento (no unidireccional) y el flujo de aire laminar (unidireccional).

Independientemente de la industria, el propósito de los cuartos limpios es controlar el nivel de partículas en el aire para la esterilización de una habitación, ya que, aunque cada ramo industrial tiene sus procesos únicos de control ambiental, la calidad del aire es fundamental para lograr los niveles de limpieza deseados.

1.2.3. CAMBIOS DE AIRE DE LOS CUARTOS LIMPIOS:

Uno de los puntos a tener en consideración en el mantenimiento del control de los cuartos limpios es la de evitar el asentamiento de las partículas dentro del área. Se debe diluir la contaminación de partículas a niveles aceptables y para eso se deben suministrar suficientes cambios de aire dentro del área lo cual ayuda a que se extraiga la contaminación que provoca el descontrol del sistema.

Un cuarto limpio puede tener desde 10 cambios de aire por hora como mínimo hasta 650 cambios por hora dependiendo de la clase de cuarto limpio. Todos esos cambios introducen al sistema aire purificado gracias a los filtros HEPA instalados. Mientras más cambios existan menos posibilidad de asentamiento de particulado tendrá el área limpia.

Como se muestra en la siguiente Tabla, existen entre 10 a 360 cambios de aire y también depende del tipo de flujo y velocidad con que es introducido el aire al sistema del cuarto limpio.

| Clase | Tipo de Flujo | Velocidad Flujo - FPM | Cambios de aire por hora |
|--------|----------------|-----------------------|--------------------------|
| 1 | Unidireccional | 70- 100 | 350 – 650 |
| 10 | Unidireccional | 60- 110 | 300 – 600 |
| 100 | Unidireccional | 50- 90 | 300 – 480 |
| 1000 | Mixto | 40- 90 | 150 – 250 |
| 10000 | Mixto | 25- 40 | 60- 120 |
| 100000 | Mixto | 10- 30 | 10- 40 |

Tabla 2. Cambios de aire por hora
Fuente: (Aconsulting, 2009)

1.3. NORMATIVAS EXISTENTES MUNDIALMENTE QUE RIGEN LOS TIPOS DE CUARTO LIMPIOS.

Actualmente existe una normativa que rige el control y supervisión de los cuartos limpios, y es la establecida actualmente a nivel mundial y clasifica a los cuartos limpios según su concentración de partículas suspendidas dentro del área, esta categorización esta descrita dentro de las Norma ISO TC209 14644-1. (Álvarez, 2014) (Arquitectos Especializados del Noroeste)

Antes de que se formulara la ISO TC209 14644-1, la clasificación para Cuartos Limpios estuvo definida por la Norma Federal de Estandarización de Estados Unidos la (US FEDERAL STANDARD 209E), la misma tiene una tabla sistemática que clasifica los cuartos limpios según su particulado basado en la unidad de medida de pies cubico.

Luego este estándar fue declarado oficialmente cancelado, abriendo paso para la futura estandarización global, el nuevo protocolo de Cuartos Limpios de la Organización Internacional de Estandarización (ISO 14644).

La US FEDERAL STANDARD 209, especifica el número de partículas igual o superior a 0.5 micrones medidos en un pie cúbico de aire y de esta manera designa el número de clase. Entonces, dependiendo de la medida del nivel de particulado dentro del cuarto, se obtienen una clasificación que se realiza por medio de una unidad de volumen de aire y se representa como: Partículas por pie cúbico (part/ft³) o Partículas por metro cúbico (part/m³). (Inversiones Abaco LTDA, 2011)

En la siguiente tabla se muestra la Clase según US Federal Standard 209E para Cuartos Limpios:

| CLASE ISO | Máximo # de partículas en el aire (Partículas en cada m ³) | | |
|-----------|--|-----------|---------|
| | Tamaño de partícula | | |
| | >0.5µm | >1µm | >5µm |
| 1 | | | |
| 2 | 4 | | |
| 3 | 35 | 8 | |
| 4 | 352 | 83 | |
| 5 | 3520 | 832 | 29 |
| 6 | 35.200 | 8.320 | 293 |
| 7 | 352.000 | 83.200 | 2930 |
| 8 | 3.520.000 | 832.000 | 29.300 |
| 9 | 35.200.000 | 8.320.000 | 293.000 |

Tabla 3. Clasificación Cuartos Limpios US FEDERAL STANDARD 209.
Fuente: (Inversiones Abaco LTDA, 2011)

Los detalles de esta tabla y clasificación ya están en desuso, esta información se ha actualizado y la que está vigente es establecida en las Normas ISO, específicamente la TC209 14644-1.

En la ISO TC209 14644-1 se define la designación internacional de la limpieza de un cuarto limpio e incorpora las unidades métricas utilizadas en otras partes del mundo. Por lo dicho es fundamental contar con un sistema certificado de acondicionamiento de aire y ventilación, que garantice un ambiente seguro para el paciente, los trabajadores y los visitantes.

Según la clasificación del sistema inglés y la ISO TC209 14644-1, la clase indica el número de partículas por pie cúbico que ocupan en el área. En la Tabla 1, ubicada en el capítulo anterior, se muestra la designación internacional de partículas por metros cúbico de aire, donde se muestran la clasificación de limpieza relacionado a la concentración de partículas que les corresponden, todo esto en función de los tamaños de partículas iguales o mayores a los indicados.

1.3.1. Ambientes que utilizan cuartos limpios y su relación con las normas:

Hay un cuarto limpio para cada necesidad industrial y área en cuestión. Según la Organización Internacional de Normalización (ISO 14644) y la US Federal Standard 209E, se presentan las clases de cuartos limpios de acuerdo y las normas que aplica para cada área o ambiente:

| NORMA ISO | US Federal Standard 209E | AMBIENTE |
|------------------|---------------------------------|---|
| ISO 3 | FED STD 209E = 1 | Circuitos integrados y de geometrías de sub-micrón. |
| ISO 4 | FED STD 209E = 10 | Productores de semiconductores que crean circuitos integrados con anchos de líneas inferiores a 2 micras. |
| ISO 5 | FED STD 209E = 100 | Manufactura de medicinas inyectables producidas de manera aséptica. |
| ISO 6 | FED STD 209E = 1,000 | Manufactura de equipo óptico de alta calidad, ensamble y prueba de precisión de giroscopios y ensamble de rodamientos miniatura |
| ISO 7 | FED STD 209E = 10,000 | Ensamble de equipo hidráulico o neumático, válvulas de servo-control, dispositivos de medición de tiempos y engranajes de alto grado. |
| ISO 8 | FED STD 209E = 100,000 | Trabajo general de óptica, ensamble de componentes electrónicos y ensamble hidráulico y neumático |

Tabla 4. Clasificación Ambiente con respecto a las Normas.

Fuente: (Arquitectos Especializados del Noroeste)

1.3.2. Comparación de la normativa para cuartos limpios ISO TC209 14644-1 con la especificación federal, US Federal Standard 209E.

La ISO/TC209 14644-1 para cuartos limpios ha reemplazado a la especificación federal (Federal Standard 209E). La ISO/TC209 está basada en medidas métricas, en cambio, la especificación federal (Federal Standard 209E) está basada en medidas imperiales. (Maya, 2017)

La relación existente entre ambas normas es la siguiente:

- ✓ ISO 3 = FED STD 209E = 1
- ✓ ISO 4 = FED STD 209E = 10

- ✓ ISO 5 = FED STD 209E = 100
- ✓ ISO 6 = FED STD 209E = 1,000
- ✓ ISO 7 = FED STD 209E = 10,000
- ✓ ISO 8 = FED STD 209E = 100,000

Fuente: (Maya, 2017)

1.3.3. Significado las clases de la especificación de los cuartos limpios:

Según la ISO/TC209 14644-1, las clases se refieren al nivel de limpieza en cuanto a partículas aéreas que existe en un recinto. Una Clase 5 significa que en 1 metro cúbico debieran existir menos de 3,520 partículas estas de tamaño no mayor a 0.5 micrones, lo que equivale a 100 partículas por pies cúbico. (Maya, 2017) También, una Clase 6 permite dentro de 1 metro cubico de volumen de aire, menos de 35,200 partículas circundantes de tamaño no mayor a 0.5 micrones.

Mientras más alto es el número asignado a una clase, ésta presenta más cantidad de partículas circundante por el mismo volumen de aire, tomando incluso el tamaño de las partículas.

1.3.4. Un Cuarto Limpio debe de cumplir con lo siguiente, conforme a las normas ISO14644-1:1999E, IEST-RP-CC-012.1 y Federal 209 E, son las siguientes:

Materiales de construcción compatibles: El cuarto limpio debe estar hecho de materiales anticorrosivos, resistentes, que no desprendan partículas y que mantengan una

baja emisión de gases para evitar la introducción de AMC (airborne molecular contamination o contaminación por partículas aéreas) dentro del cuarto limpio. (HVACR, 2009)

Cobertura completa por ionizadores sobre las estaciones de trabajo: para asegurar el control de ESD (electrostatic discharge o descargas electrostáticas) en todas las áreas críticas del cuarto limpio. (HVACR, 2009)

Control estricto de la contaminación del aire: El aire es filtrado y monitoreado constantemente para asegurar que no contiene más de 100 partículas de 5 micrones o mayores, por pie cúbico. Un ambiente normal puede contener más de 1,000,000 de partículas de ese tamaño y mayores. (HVACR, 2009)

Otras de las características a cumplir: es que el personal que trabajan en instalaciones de cuartos limpios deben vestir guantes, máscaras, gorras y trajes especiales, siguiendo procedimientos específicos para evitar la contaminación que proviene incluso de nuestros cuerpos (piel, cabello, huellas digitales, perfume, etc.). (HVACR, 2009)

1.4. TECNOLOGÍA A IMPLEMENTAR PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LAS ÁREAS LIMPIAS

Los sistemas de control programables para cuartos limpios, son procesadores digitales que ejecutan operaciones de acuerdo a una o varias necesidades específicas en el

acondicionamiento del aire de un cuarto limpio. Dichas operaciones son complejas en un cuarto limpio pues son varias variables que hay que controlar. Temperatura, humedad, presión positiva, número de partículas, estado de filtros, etc. Es por ello que es necesario contar con un medio o dispositivo adecuado para poder operar un cuarto limpio en la forma correcta

Un sistema de control y supervisión para cuartos limpios es la herramienta que, por ser precisamente programable, le permite al especialista operar un cuarto limpio en cumplimiento de los requerimientos particulares del cuarto.

Este sistema tiene como fin realizar supervisión continua y en tiempo real de los parámetros del cuarto limpio y tiene la capacidad de almacenar un registro de toda actividad ejecutada dentro del recinto controlado.

Tiene la capacidad de presentar la información de manera gráfica, permiten que los parámetros de operación y control sean ajustados por un operador, generan alarmas, las cuales son programadas de acuerdo a las necesidades del cuarto y del proceso que se realiza en su interior. Son capaces de comunicar su información siendo conectados a una red general de automatización.

¿Qué resultados y beneficios puede conseguir con un sistema de supervisión continua, instalado en un cuarto limpio?

Al contar con este tipo de sistema de control en el cuarto limpio, puede dar solución a más variadas y complejas necesidades de control de humedad, temperatura, presión, particulado, con la precisión y eficiencia requeridas para poder cumplir con las especificaciones del producto o proceso.

CAPITULO 2

2. CARACTERISTICAS DEL CUARTO LIMPIO:

2.1. ESPECIFICAR EL TIPO DE INDUSTRIA O APLICACIÓN DONDE SE VA A REALIZAR EL PROYECTO:

En los siguientes apartados se expondrán cuáles son las características y condiciones generales y específicas del cuarto limpio a tratar, en este caso se ha escogido el tipo de industria “Medical Devices” o de dispositivos médicos y la empresa dedicada a utilizar este ambiente controlado es Hospira a Pfizer Company, esta compañía ofrece al mercado hospitalario ensambles de dispositivos médicos específicamente, bajantes de sueros y toda su gama.

Hospira es una compañía americana de productos farmacéuticos y dispositivos médicos, la casa matriz se encuentra en Lake Forest, Illinois, Estados Unidos. Cuenta con aproximadamente 15,000 empleados en todo el mundo¹ y en la República Dominicana se encuentra ubicada en el Parque Industrial de Itabo S.A (PIISA), en la Zona Franca de Haina, San Cristóbal.

¹ (Hospira, Ltd.)

Hospira es el mayor productor mundial de medicamentos inyectables genéricos,² también de la fabricación de inyectables de cuidados agudos y oncológicos, así como sistemas integrados de administración de medicamentos y terapia de infusión. Los productos de Hospira son utilizados por hospitales y proveedores de sitios alternativos, como clínicas, proveedores de atención médica a domicilio y centros de atención a largo plazo.³

A través de su amplia e integrada cartera, Hospira cuenta con una posición única para promover bienestar, mejorando la seguridad del paciente y el personal de salud, mientras se reducen los costos de atención médica. Las ventas mundiales en 2011 fueron de aproximadamente \$ 4,1 mil millones.⁴

Los productos principales de la empresa son los dispositivos médicos, estos son instrumentos, implementos, dispositivos, reactivos intravenosos u otros artículos similares o relacionados que son destinados a ser utilizado en el diagnóstico de enfermedades u otras afecciones, o en la cura, mitigación, tratamiento o prevención de enfermedades, en el hombre. (Market and Research, 2016)

² (Mohit Bhalla & Khomba Singh, 2009)

³ (Hospira, Ltd.)

⁴ (Yahoo Finance)

La exigencia en la manufactura de dichos dispositivos ha llevado a la creciente demanda de productos certificados y en los avances tecnológicos en cuartos limpios; cabe mencionar incluso que existe una mayor necesidad de tecnología para asegurar la calidad de productos farmacéuticos y biotecnológicos y estos están impulsando el crecimiento de la producción en cuartos limpios.

Los pronósticos de la consultora Research and Markets (Market and Research, 2016) indican un crecimiento de 5,7% en los próximos cuatro años para el mercado de tecnología para cuartos limpios, lo que quiere decir que cada vez veremos más compañías manufacturando sus productos dentro de estas áreas limpias. Tan sólo en 2014, el mercado de tecnología e insumos para cuartos limpios en el mundo ascendió a US\$3,1 billones.

2.2. IDENTIFICAR LAS CONDICIONES INTERNAS DE TEMPERATURA, HUMEDAD RELATIVA, PRESIÓN DIFERENCIAL Y NIVEL DE PARTICULADO A CONTROLAR:

El propósito del sistema es mantener bajo supervisión continua y en tiempo real y alertar sobre las variaciones de Temperatura, Humedad Relativa, Presión Diferencial y Nivel de Particulado en los cuartos limpios de la empresa y asegurar que se mantienen dentro de las especificaciones dadas.

El sistema debe de mantener la sala controlada con niveles bajos de contaminación y los parámetros dentro de sus rangos, para esto se tiene que realizar el filtrado de las partículas que entran al área, para obtener éxito en la remoción de partículas es necesario

tener una buena filtración de aire, cabe notar que adicionalmente al proceso de filtración, el cuarto limpio debe estar completamente aislado del ambiente y sus alrededores. (Inversiones Abaco LTDA, 2011)

El cuarto limpio mantiene el aire lo más limpio posible y libre de cualquier tipo de partículas utilizando filtros HEPA o ULPA donde se emplean los principios de flujos de aire laminar o turbulento según sea el caso del proceso. Hay dos tipos de filtros utilizados comúnmente HEPA (Efficiency Particulate Air) y ULPA (Ultra Low Penetration Air). Estos garantizan que las partículas no queden en el aire, de esta manera el aire de suministro puede considerarse prácticamente libre de partículas.

La presurización del cuarto limpio es un punto esencial para el sostenimiento del área, en ellos se deben de mantener las presiones estáticas superiores o mayores a las atmosféricas y de esta manera se previenen infiltración por viento hacia dentro del cuarto. Las presiones diferenciales positivas deben mantenerse entre los cuartos limpios así de esta manera se aseguran los flujos de aire desde el espacio más limpio al menos limpio, es decir, desde dentro del cuarto hacia afuera. (Inversiones Abaco LTDA, 2011)

Para obtener condiciones estables en los materiales, instrumentos y el confort del personal se requiere manejar un control en la temperatura y humedad relativa y suministrar condiciones estables a las mismas. La Temperatura y La Humedad del cuarto limpio son

supervisadas continuamente en los días de producción, usando los “Charts Recorder” que son los instrumentos calibrados para este fin.



Figura 6. Chart Recorder (cita)

Fuente:<http://www.vector-supplies.ltd.uk/sales/de-wit-measurement-test-equipment/>

Los Gráficos Circulares (o Charts) documentan y ayudan a asegurar que las especificaciones del cuarto limpio sean mantenidas.

Durante horas de producción las especificaciones no estáticas a mantener para el cuarto limpio son las siguientes:

- ✓ **Temperatura:** Entre 60°F y 77°F
- ✓ **Humedad Relativa (%RH):** Igual o menor a 60%.

Según los estándares STD.00.44 y, STD.00.103, y la Política Corporativa QS.12.

El medio donde se registra los valores detectados por el Registrador son las hojas llamadas CHART O GRAFICO CIRCULAR, estos son usados por el registrador gráfico (Recorder) para registrar el comportamiento de las variables físicas a supervisar (la temperatura y la humedad relativa). Estos charts pueden tener frecuencias de supervisión de horas, días o semanas. Los más utilizados son los que poseen 31 días de registro de parámetros.

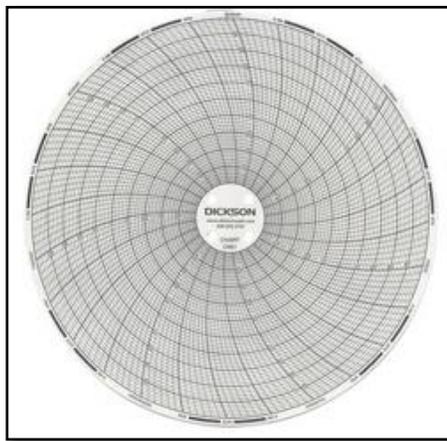


Figura 7. Chart

Fuente:<http://meters2u.com/shop/temperature-chart-recorder-calibration-4-pen/>

En la compañía a tratar, Hospira a ICU Company, los colores de las líneas usadas por los “Chart Recorder” representan cada uno de estos parámetros de la siguiente manera:

- ✓ **ROJO:** Indica la Temperatura (en grados Fahrenheit).
- ✓ **AZUL:** Indica el Porcentaje de Humedad Relativa (%RH).

El porcentaje de HUMEDAD RELATIVA (%RH) en los cuartos limpios es la relación en término porcentual que existe entre la cantidad de vapor de agua existente en el aire y la que se necesitaría contener para saturarse a la misma temperatura. La cantidad de vapor de agua presente en el aire, es lo que conocemos también como **humedad**. Cuando se presenta que *el aire está muy seco* lo que sucede es que contiene poco vapor de agua, es decir, que contiene poca humedad.

Para expresar el grado de saturación de una masa de aire, se mide lo que se conoce como **humedad relativa**, la cual relaciona la cantidad de vapor de agua presente en una masa de aire, con la que podría estar presente en esa cantidad de aire, si éste estuviera saturado totalmente. Generalmente, la humedad relativa se expresa en tanto por ciento.

La cantidad de vapor de agua contenida en el aire, en cualquier momento determinado, normalmente es menor que el necesario para saturar el aire. La humedad relativa es el porcentaje de la humedad de saturación, que se calcula normalmente en relación con la densidad de vapor de saturación.

$$\text{Relative Humidity} = \frac{\text{actual vapor density}}{\text{saturation vapor density}} \times 100\%$$

Fórmula 1. Humedad Relativa

La unidad más común de densidad de vapor es el g/m^3 . Por ejemplo, si la densidad de vapor actual es de 10 g/m^3 a 20°C comparada con la densidad de vapor de saturación a esa temperatura de $17,3 \text{ g/m}^3$, entonces la humedad relativa es:

$$R.H. = \frac{10 \text{ g / m}^3}{17.3 \text{ g / m}^3} \times 100\% = 57.8\%$$

Con respecto a la **TEMPERATURA** tenemos que es la relación en término porcentual que existe entre la cantidad de vapor de agua contenido en el aire y la que necesitaría contener para saturarse a la misma temperatura.

2.2.1. RELACIÓN HUMEDAD RELATIVA Y TEMPERATURA:

Existe estrecha relación entre la temperatura y el %RH dentro del área, significa que una variación en uno de los rangos de uno de los parámetros afectaría directamente al otro. Es decir, la humedad relativa puede variar, si el contenido de humedad (contenido de vapor de agua) de una masa de aire permanece constante. ¿Por qué sucede este cambio? A causa de la variación de la temperatura del aire. La temperatura provoca que varíe la máxima cantidad de vapor de agua que puede contener esa masa de aire y, por ello, cambia también la humedad relativa.

- 1) Si la temperatura del aire permanece constante y el contenido de humedad aumenta, la humedad relativa aumenta, ya que, al no variar la temperatura del aire, tampoco lo

hace la máxima cantidad de vapor de agua que esa muestra de aire puede contener (el denominador de la fórmula 1), y si se varía el contenido de humedad (el numerador de la fórmula 1), entonces se produce por tanto una variación de la humedad relativa.

- 2) Si la temperatura del aire aumenta y el contenido de humedad permanece constante, la humedad relativa disminuye. Esto es así porque, al aumentar la temperatura aumenta la máxima cantidad de vapor de agua que puede contener esa masa de aire (el denominador de la fórmula 1), mientras que el numerador de la fórmula (el contenido real en vapor de agua de esa masa de aire) permanece constante. O, dicho de otra manera, el grado de saturación del aire disminuye porque al aumentar la temperatura tiene mayor capacidad para contener vapor de agua.
- 3) Si el contenido de humedad (vapor de agua) en el aire permanece constante y su temperatura desciende, la humedad relativa aumenta. Ya que, al disminuir la temperatura del aire, disminuye su capacidad para contener vapor de agua. Si el aire continúa enfriándose llegará un momento en que podrá alcanzar el punto de saturación. A partir de ese momento podría empezar la condensación del vapor de agua.

2.2.2. REGISTRO DE PARÁMETROS DEL CUARTO LIMPIO:

Los “Chart Recorder” aquellos aparatos calibrados para el registro de los parámetros del cuarto limpio, están colocados en puntos claves en las áreas limpias activas. Si un “Chart Recorder” se dañara, el mismo podrá ser sustituido por otro debidamente calibrado

en la cual se deberá documentar el número de DA o identificación del instrumento a ser sustituido y por el cual será sustituido; además, de la razón de la sustitución.

Los CHART RECORDER o Registrador Gráfico, son instrumentos usados para registrar una variables físicas, tal como la Temperatura y la Humedad Relativa. Los registradores gráficos consisten en un rollo o cinta de papel que se pasa en forma lineal bajo una o más plumas y a medida que la señal cambia, las plumas se desvían y producen la gráfica resultante.

El papel o chart que forma parte del registrador se pasa bajo una pluma y esta pluma se desvía en proporción a la señal detectada; el resultado es un gráfico circular o un gráfico de datos.

Los registradores gráficos están muy bien adaptados para registrar procesos continuos; también las secciones de papel ya graficadas en ellos se pueden cortar y archivar para consultarse en el futuro. Los registradores gráficos normalmente se usan en aplicaciones de laboratorio, así como de medición del proceso.

Los charts Recorder vienen contruidos para satisfacer las diferentes necesidades y además poseen las siguientes características.

RECORDING INSTRUMENT (Características del Aparato):

- ✓ Tamaños 6 " - 12"
- ✓ Pluma simple, doble, triple
- ✓ Grabadoras de gráficos de acero inoxidable
- ✓ Grabadores de gráficos de presión
- ✓ Registradores de temperatura
- ✓ Registradores de gráficos de presión / temperatura
- ✓ Registradores de gráficos de presión diferencial
- ✓ Grabadoras de gráficos de humedad

Muchos de los registradores de gráfico de hoy pueden también registrar la información en un formato digital para la transferencia directa a una computadora, incluso en los últimos años, por ejemplo, los registradores de gráficos analógicos convencionales se han hibridado con los registradores de datos, y las funciones basadas en PC se han añadido a la mayoría de las categorías de productos.

Existen actualmente decenas de modelos de registradores de datos que se pueden encontrar dentro del mercado de los cuartos limpios, todos ellos divididos en diferentes rangos de precios dependiendo de la tecnología utilizada por los mismos. Las grabadoras de gráficos están disponibles, además, en diferentes estilos: los individuales y los de multicanal (también conocidos como mono o multipen).

Podemos encontrar incluso, que la mayoría de los registradores de datos se pueden clasificar dependiendo su tamaño, entre los que hallamos, estos son llamados: simples, medianos o complejos.

De manera general existen tres tipos de registradores gráficos, REGISTRADORES CIRCULARES, REGISTRADORES HÍBRIDOS Y REGISTRADORES SIN PAPEL. Se expondrán cada uno y sus características correspondientes

2.2.2.1. Registrador Gráfico Circular:

Un registrador circular acumula datos en formato circular. El papel gira debajo de una o más plumas, las mismas se desvían en proporción a la señal que varía y se produce una gráfica circular. Los registradores circulares son ideales para procesos por lotes en los cuales se conoce un tiempo de proceso preestablecido.



Figura 8. Chart Recorder Circular

Fuente:<http://www.omega.com/prodinfo/chartrecorders.html>

Las gráficas se diseñan normalmente para girar en periodos de tiempo estándares, como 1 hora, 24 horas, 7 días, etc., aunque muchos registradores son lo suficientemente flexibles para adaptarse a periodos de tiempo no estándares.

2.2.2.2. Registradores Gráficos Híbridos

Un registrador gráfico híbrido puede funcionar como graficador estándar o registrador de datos. Al igual que un graficador estándar, el graficador híbrido puede generar una gráfica de las entradas, sin embargo, también puede producir un sello digital de los datos de manera semejante a un registrador de datos.

Normalmente están disponibles en diseños de multicanal, aunque normalmente una cabeza de impresión maneja todos los canales. Esto hace que el graficador híbrido sea una solución rentable para sistemas multicanal, aunque el tiempo de respuesta no es tan rápido como los graficadores que tienen una sola pluma para cada canal.



Figura 9. Chart Recorder Híbrido

Fuente:<http://www.electro-meters.com/yokogawa/yokogawa-records/?lang=es>

2.2.2.3. Registradores Gráficos sin Papel

Los registradores gráficos sin papel son uno de los tipos de graficador más recientes que llegaron al mercado. Los registradores gráficos sin papel muestran la gráfica en la pantalla del graficador en lugar de imprimir la gráfica en papel. Los datos normalmente se pueden guardar en la memoria interna o en una tarjeta de memoria para transferir posteriormente a una computadora. El beneficio más importante de los graficadores sin papel es que no se consume papel y los datos se transfieren fácilmente a una computadora.



Figura 70. Chart Recorder Híbrido
Fuente:<http://www.omega.com/pptst/RD8250.html>

2.2.3. SUPERVISION DIARIA DE LAS AREAS CONTROLADAS:

Cada día de producción, las áreas limpias activas son monitoreadas de manera continua por los “Chart Recorders” y los mismos grafican los valores actuales de Temperatura y Humedad Relativa.

El Departamento de Ingeniería establecerá en los “Chart Recorder” un punto de alerta de luz visual. Este punto será establecido en 59% RH, dado que el requerimiento es que sea menor de 60%, de acuerdo al Engineering Standard (STD.00.103), el estándar de parámetros establecidos a nivel corporativo en las instalaciones de la empresa.

El punto de alerta sirve para avisar a Ingeniería, que la humedad relativa se está aproximando al valor límite de especificación, y así le permita tomar acciones a tiempo para evitar la ocurrencia de una posible excursión.

Esta notificación será realizada independientemente de que exista o no actividad de manufactura, por ejemplo: día laborable, día feriado o durante alguna actividad de mantenimiento.

Si esta alerta se activa durante horas de Producción, el supervisor de Mantenimiento, Utilidades o su designado verificarán e informará al Encargado de producción y documentará el evento en el formulario correspondiente.

Si al revisar los “Chart Recorder” del cuarto limpio se detecta que la Humedad Relativa o la Temperatura han excedido los límites de especificación por más de **30 minutos**, en días de producción, el departamento de Ingeniería deberá:

- a) Revisará todos los “Charts Recorder” del cuarto limpio, para asegurar su buen funcionamiento al momento de ocurrir el evento, y asegurar que los parámetros de

humedad y temperatura se mantienen o se han restablecidos dentro de los rangos indicados en la sección “Requerimientos” anteriormente expuestos.

- b) Informará a los departamentos de Manufactura y “Calidad Biológica (BQ)” sobre este evento para evaluar el impacto en el producto y actuar en consecuencia, esta notificación y evaluación de impacto se realiza mediante el anexo denominado como “Parada por excursión y reinicio de actividad”.

En períodos de cierre de producción, siempre que el piso sea declarado no limpio (como en tiempos de Shut down) la supervisión de Temperatura y Humedad Relativa no es necesaria (pudiendo los "Chart Recorder" ser retirados y almacenados para su protección, si fuere necesario).

2.2.3.1. Cierre de un área activa.

La supervisión de Temperatura y Humedad Relativa no será necesaria en las áreas activas en los casos que las mismas no sean usadas para fines de producción por un periodo de tiempo determinado o indefinido como consecuencia de la ejecución de un proyecto, remodelación, construcción o por decisión de la Gerencia de Planta, en estos casos, se deberá inactivar el Chart Recorder en cuestión siguiendo los procedimientos establecidos para el “Manejo de Instrumentos Calibrados”.

2.2.4. REEMPLAZO DE LOS CHARTS.

Los Charts serán reemplazados rutinariamente en base a una frecuencia semanal mediante una orden de mantenimiento tipo FM (Facility Maintenance).

Los reemplazos no-rutinarios, es decir, antes de completar el ciclo regular semanal, pueden ocurrir en los siguientes casos como: actividades de Calibración de los Chart Recorder, días festivos, y otras razones válidas, estos reemplazos deben de ser documentados en una orden de mantenimiento correctivo.

Antes de instalar un Chart en blanco en el "Chart Recorder", el técnico de Ingeniería se asegurará de escribirle los siguientes datos:

- ✓ Número de DA del Chart Recorder. Número de identificación
- ✓ Fecha y Hora de Instalación del chart.
- ✓ Firma del Técnico que instala el Chart.
- ✓ El Color y el Parámetro físico que representa.

Además, el técnico instalador se asegurará de alinear la pluma graficadora de temperatura con la línea de fecha y hora actuales en el Chart.

Luego de remover el Chart anterior, el técnico ejecutante pondrá la fecha y hora de remoción y lo firmará en el campo provisto. Luego le entregará el Chart Removido al

supervisor de utilidades o designado para registro se documentará la orden de mantenimiento generada o solicitada para tal fin.

El supervisor de Utilidades, revisará el chart y si se observa alguna excursión de Temperatura y Humedad Relativa, documentará esta anomalía y verificará las causas que provocaron dicha excursión, para evitar futuras fallas en el sistema.

2.3. ANALIZAR LAS CONDICIONES MÁS EXTREMAS QUE SE PUEDAN PRESENTAR EN UN PERÍODO NO MENOS A 24 HORAS:

La calidad de aire en interiores de la sala es de suprema importancia para la salud, cuidado de los productos y el confort de los trabajadores de las diferentes industrias y fábricas existente. El aire, bien sea que venga de fuera o que se recircule dentro del área cerrada, actúa como vehículo de contaminantes aéreos que se introducen por el movimiento de las personas, por la introducción de los materiales y también de los aparatos y equipos que funcionan dentro del cuarto limpio, aunque estos últimos estén certificados para su uso.

Un deficiente control de humedad de cuartos limpios puede incidir en:

- El crecimiento de las bacterias.
- Deficiente zona de confort del personal.
- Acumulación de carga estática.
- La corrosión de metales.

- La condensación de humedad.
- Absorción de agua.
- Producto dañado.

El daño que provocan las partículas micrónicas y sub-micrónicas es muy diferente tanto en las fábricas como en las compañías que tienen la necesidad de controlarlas. El 97% de las partículas existentes en el aire pueden dañar a los productos o los procesos.

Al eliminar el polvo visible solamente se eliminará un simple 3% de todas las partículas normales o comunes que existen en el aire, es decir, si el ambiente de manufactura contiene 1,000,000 de partículas en suspensión por pie cúbico de aire y se filtran (retienen) todas aquellas que se pueden ver a simple vista, aún existirán 970,000 partículas en el aire que se reciclan, y éstas pueden ser perjudiciales al proceso de manufactura y calidad del producto⁵ (ver figura 11).

⁵ (HVACR, 2009)

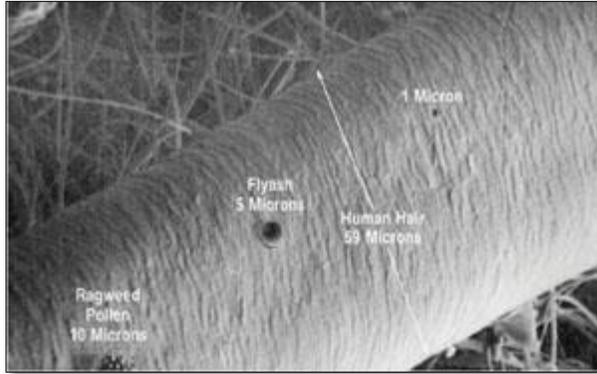


Figura 11. Partícula de polvo. Escala 1 micrómetro

Fuente:<https://www.mundohvacr.com.mx/mundo/2009/06/cuartos-limpios/>

2.3.1.1. Detección de las fuentes de emisión y cómo controlarlas:

Las fuentes de emisión de partículas deben considerarse emisoras de tiempo completo y las compañías que se dedican a su control, las identifican comúnmente como las siguientes:

- ✓ Las herramientas y las maquinarias: estas generan partículas por procesos de abrasión, corrosión, deterioro físico y operación.
- ✓ El producto en proceso: estas generan partículas por residuos de material, ajuste, ensamble y/o transportación.
- ✓ El edificio: estos generan partículas por deterioro de los acabados de los muros, pintura, aislamiento térmico, maquinaria de servicio, ventilas, actividades de limpieza, mantenimiento, manejo de desperdicios y/o basura.
- ✓ El personal: el personal calificado para ejecutar actividades dentro del cuarto también es emisor partículas por medio del desprendimiento de escamas de la piel,

el pelo, los cosméticos, las fibras de las ropas, y espectro de partículas transportadas. (HVACR, 2009)

2.3.1.2. Controlando al Enemigo Invisible

Eliminar la micro contaminación aerotransportada es realmente un proceso de control, porque los contaminantes se generan continuamente por el personal, equipos, edificios y mobiliario. Los equipos de aire acondicionado normales están retirando continuamente las partículas aerotransportadas “grandes”, para proveer un ambiente adecuado a las actividades rutinarias. Pero si las partículas no visibles al ojo humano son un problema para la confiabilidad de su proceso de manufactura o de la calidad de su producto, esta filtración no es suficiente.⁶

El volumen de aire, la dirección, la presurización, la temperatura, la humedad, la vibración y la necesidad de filtración especializada están ligados estrechamente; por lo tanto, las fuentes de contaminación deben de estar controladas y/o eliminadas siempre que esto sea posible. Si no así, la tecnología requerida para lograr condiciones especiales de limpieza ambiental inició alrededor de 40 años atrás y se conoce como Tecnología de Cuartos Limpios.

⁶ (HVACR, 2009)

CAPITULO 3

3. DISEÑO DEL SISTEMA AUTOMATIZADO

3.1. PLANTEAMIENTO DE LA PROPUESTA DE DISEÑO

Desde hace tiempo han irrumpido en el mercado distintas soluciones de placas PC también llamadas “Single Board Computer” (SBC), como Raspberry Pi, Beaglebone.

Se dice que el Arduino es una Raspberry Pi pero con menos capacidades. Cuando se comparan los valores de memoria RAM, frecuencia de CPU y capacidad de almacenamiento, podemos creer que así es, pero se trata de dos placas con funcionalidades diferentes.

Las diferencias principales entre una Raspberry Pi y un Arduino son: Número de entradas y salidas y sus capacidades de corriente y voltaje. La programación, Arduino se usa para programación en tiempo real, en Raspberry Pi se usa para programación intensiva con gran cantidad de datos.

Analogía: Arduino es un Autómata programable y Raspberry Pi es un Ordenador, así que a la hora de decidirse que utilizar para un proyecto deberíamos pensar si usar un autómata o un ordenador.

3.2. SELECCIÓN DE LOS EQUIPOS Y COMPONENTES ACORDE CON EL TIPO DE ÁREA.



Figura 12. ARDUINO

Fuente: <http://panamahitek.com/que-es-arduino-y-para-que-se-utiliza/>

3.2.1. ¿QUÉ ES ARDUINO?

Según la descripción de la página oficial de Arduino, <http://www.arduino.cc/es/>, Arduino es una plataforma electrónica de código abierto (open-source) usado para la creación de proyectos y prototipos basados en software y hardware flexibles fáciles de usar. Está formado por una placa principal que posee un microprocesador, en él se encuentran enlazados los controladores principales que gestionan los demás complementos y circuitos ensamblados en la misma. Ésta plataforma requiere de un lenguaje de programación para poder ser utilizado (basado en Wiring) y el entorno de desarrollo Arduino (basado en Processing), es decir, programado y configurarlo a nuestra necesidad, por lo que se puede decir que Arduino es un instrumento "completo". Posee la gran ventaja de que viene “pre

ensamblada” y lista con los controladores necesarios para poder operar con ella, ayudando así, a simplificar el proceso de trabajo ya que en este caso sólo debemos instalar los componentes eléctricos y electrónicos que queramos utilizar para el proyecto luego configurar el lenguaje de programación de la placa (pues viene pre-configurada con microcontroladores) y al final poner en funcionamiento todo lo ensamblado y conectado. (Arduino, 2017) (Jose Torres, 2014)

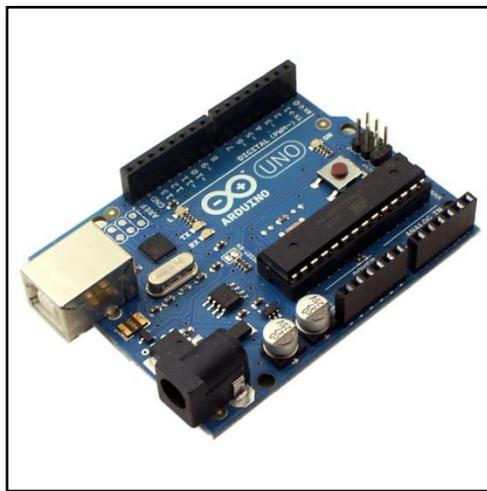


Figura 13:Arduino UNO.

Fuente: http://www.liquidware.com/system/0000/3648/Arduino_Uno_Angle.jpg

En la figura 13, se observa el Arduino que utilizaremos en este proyecto, es el llamado Arduino UNO, fue escogido este modelo por su robustez porque es el más utilizados dentro de la gama disponible y satisface nuestras necesidades para el proyecto: capacidad de procesamiento, facilidad de comunicación, cantidad y tipos de entradas y salidas, memoria disponible y por la amplia gama de dispositivos que podemos conectar en este modelo.

Sus creadores son el zaragozano David Cuartielles, ingeniero electrónico y docente de la Universidad de Mälmo, Suecia y Massimo Banzi, italiano, diseñador y desarrollador Web. El proyecto fue concebido en Italia en el año 2005.

3.2.1.1. Evolución del Arduino:

Arduino inicialmente fue construido en base al proyecto Wiring del colombiano **Hernando Barragán**. En el año 2003, en Italia específicamente en el instituto Ivrea, **Massimo Banzi** enseñaba el uso de PICs a estudiantes de diseño interactivo, estos no tenían conocimientos técnicos para utilizar herramientas de bajo costo, aparte de que un estudiante de sistemas o electrónica tenía que enfrentar otro de los grandes inconvenientes de su carrera y es que para algunos proyectos hacía falta hacerse con placas y microcontroladores que como poco rondaban los 100 dólares.

Poco tiempo después Massimo Banzi contactó a Igoe, y lo integró al “Team Arduino” su aporte se enfocó en mejorar la placa haciéndola más potente, también agregando puerto USB para poder conectarla a un ordenador de manera más cómoda, además de así eliminar el antiguo puerto serial casi en desuso.

3.2.1.1. Familia y Tipos De Arduino:

Arduino consta de una inmensa variedad de productos que trabajando en conjunto es posible de formar un sistema automatizado. Entre los que se tiene oficialmente se clasifican en diferentes clases:

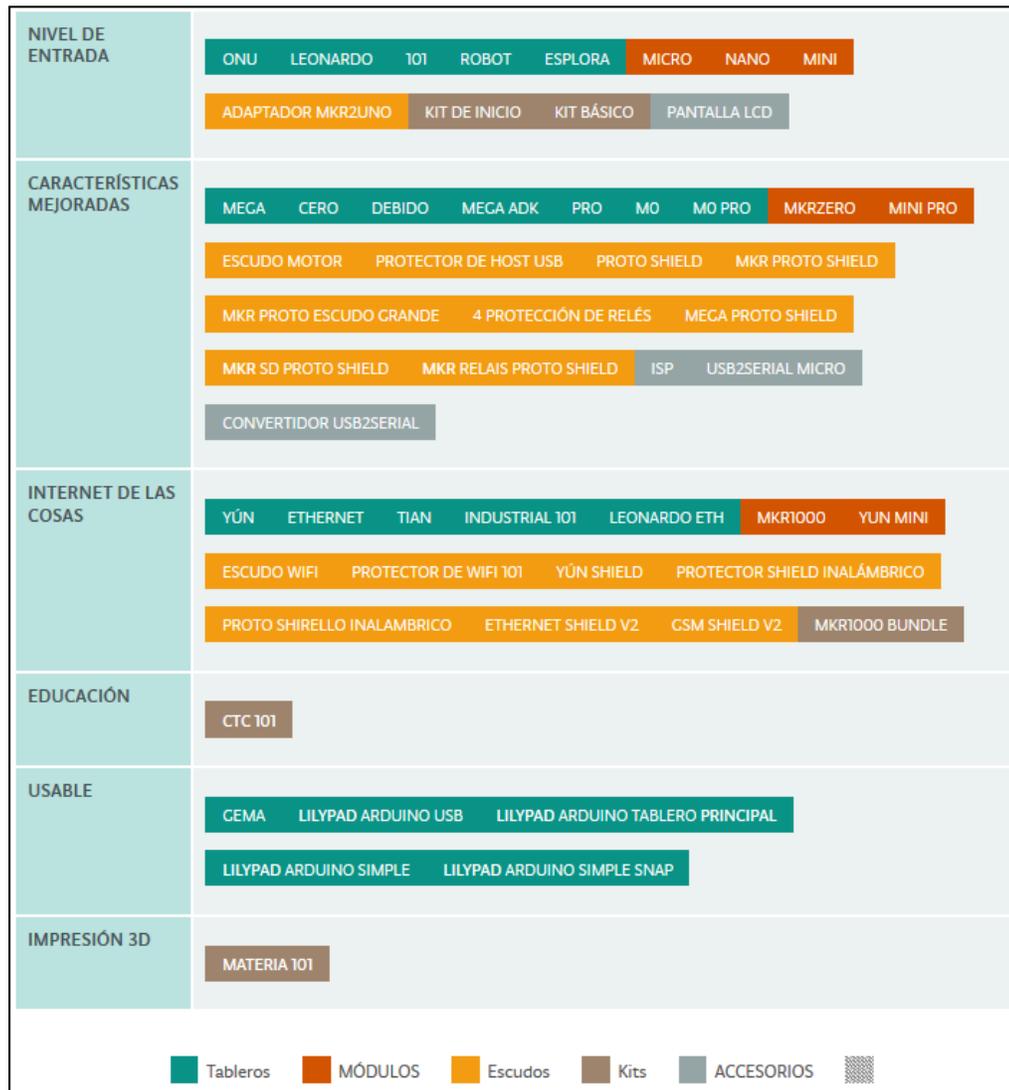


Figura 15. FAMILIA DE ARDUINO

Fuente: <https://www.arduino.cc/en/Main/Products>

| Nombre | Procesador | Voltaje De Entrada | Cpu Speed | Analog In/Out | Digital Io/Pwm | Sram [Kb] | Flash [Kb] | Usb |
|---------------------------|----------------------------|--------------------------------------|------------------|---------------|----------------|-------------|------------|---------|
| 101 | Intel® Curie | 3.3 V / 7-12V | 32MHz | 6/0 | 14/4 | 24 | 196 | Regular |
| Gemma | ATtiny85 | 3.3 V / 4-16 V | 8 MHz | 1/0 | 3/2 | 0.5 | 8 | Micro |
| LilyPad | ATmega168V ATmega328P | 2.7-5.5 V / 2.7-5.5 V | 8MHz | 6/0 | 14/6 | 1 | 16 | - |
| LilyPad SimpleSnap | ATmega328P | 2.7-5.5 V / 2.7-5.5 V | 8 MHz | 4/0 | 9/4 | 2 | 32 | - |
| LilyPad USB | ATmega32U4 | 3.3 V / 3.8-5 V | 8 MHz | 4/0 | 9/4 | 2.5 | 32 | Micro |
| Mega 2560 | ATmega2560 | 5 V / 7-12 V | 16 MHz | 16/0 | 54/15 | 8 | 256 | Regular |
| Micro | ATmega32U4 | 5 V / 7-12 V | 16 MHz | 12/0 | 20/7 | 2.5 | 32 | Micro |
| MKR1000 | SAMD21 Cortex-M0+ | 3.3 V / 5V | 48MHz | 7/1 | 8/4 | 32 | 256 | Micro |
| Pro | ATmega168 ATmega328P | 3.3 V / 3.35-12 V 5 V / 5-12 V | 8 MHz 16 MHz | 6/0 | 14/6 | 1 2 | 16 32 | - |
| Uno | ATmega328P | 5 V / 7-12 V | 16 MHz | 6/0 | 14/6 | 2 | 32 | Regular |
| Zero | ATSAMD21G18 | 3.3 V / 7-12 V | 48 MHz | 6/1 | 14/10 | 32 | 256 | 2 Micro |
| Due | ATSAM3X8E | 3.3 V / 7-12 V | 84 MHz | 12/2 | 54/12 | 96 | 512 | 2 Micro |
| Esplora | ATmega32U4 | 5 V / 7-12 V | 16 MHz | - | - | 2.5 | 32 | Micro |
| Ethernet | ATmega328P | 5 V / 7-12 V | 16 MHz | 6/0 | 14/4 | 2 | 32 | Regular |
| Leonardo | ATmega32U4 | 5 V / 7-12 V | 16 MHz | 12/0 | 20/7 | 2.5 | 32 | Micro |
| Mega ADK | ATmega2560 | 5 V / 7-12 V | 16 MHz | 16/0 | 54/15 | 8 | 256 | Regular |
| Mini | ATmega328P | 5 V / 7-9 V | 16 MHz | 8/0 | 14/6 | 2 | 32 | - |
| Nano | ATmega168 ATmega328P | 5 V / 7-9 V | 16 MHz | 8/0 | 14/6 | 1 2 | 16 32 | Mini |
| Yún | ATmega32U4 AR9331 Linux | 5 V | 16 MHz 400MHz | 12/0 | 20/7 | 2.5 16MB | 32 64MB | Micro |

Tabla 5: COMPARACION PLACAS ARDUINO

Fuente: Propia

3.2.2. ARDUINO UNO:

Arduino / Genuino Uno es una placa microcontroladora basada en ATmega328P. Contiene todo lo necesario para soportar el microcontrolador, se conecta a un ordenador con un cable USB o con un adaptador AC-DC o batería. (Arduino)



Figura 16:Arduino UNO

Fuente:http://archive.iorodeo.com/sites/default/files/imagecache/product_full/arduino_uno_r3_1.png

Éste nuevo modelo **Arduino UNO** (rev3) es prácticamente igual que su predecesor Duemilanove y 100% compatible, pero incorpora ésta vez una autoselección del voltaje de alimentación (DC/USB) gracias a un chip MOSFET incluido en la placa. Además, dispone del nuevo bootloader OptiBoot que permite cargar programas a 115Kbps (56Kbps en la versión anterior). El bootloader también ha sido reducido en tamaño ya que tan sólo ocupa 512bytes, por lo que tendremos aún más espacio para programar. (Arduino)

3.2.2.1. Especificaciones Técnicas:

A continuación, se presentan las características principales técnicas de la placa Arduino UNO R3:

| | |
|--|--|
| Microcontrolador | ATmega328P |
| Tensión de funcionamiento | 5V |
| Tensión de entrada (recomendado) | 7-12V |
| Tensión de entrada (límite) | 6-20V |
| Digital I / O Pins | 14 (de los cuales 6 proporcionan salida PWM) |
| PWM Digital I / O Pins | 6 |
| Analog Input Pins | 6 |
| Corriente CC por pin de E / S | 20 mA |
| Corriente de CC para el Pin de 3.3V | 50 mA |
| Memoria flash | 32 KB (ATmega328P) De los cuales 0,5 KB utilizados por bootloader |
| SRAM | 2 KB (ATmega328P) |
| EEPROM | 1 KB (ATmega328P) |
| Velocidad de reloj | 16 MHz |
| LED_BUILTIN | 13 |
| Longitud | 68,6 mm |
| Anchura | 53,4 mm |
| Peso | 25 g |

Tabla 6: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS ARDUINO UNO
Fuente: <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>

3.2.2.2. Componentes del Arduino UNO:

En la siguiente figura se muestra el patillaje e identificación de cada componente de la placa Arduino UNO.

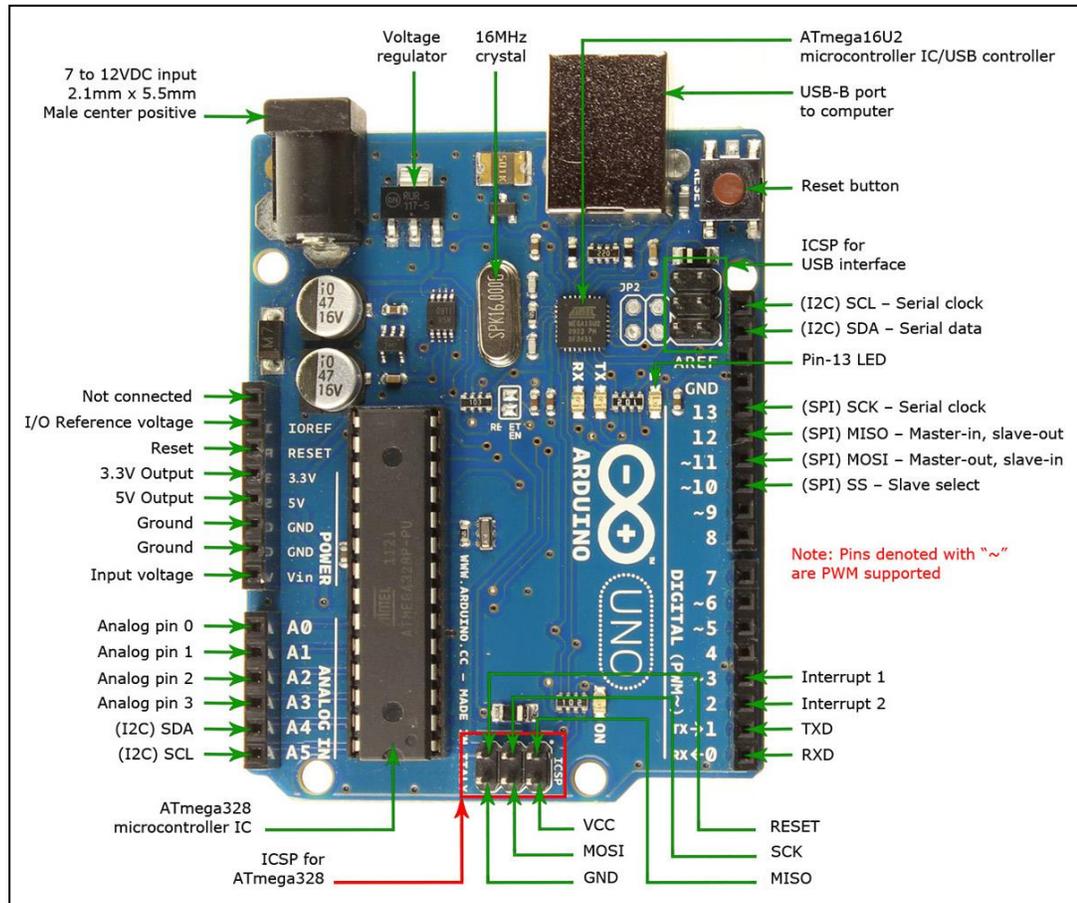


Figura 17: COMPONENTES ARDUINO UNO.

Fuente: <https://www.robomart.com/image/catalog/RM0058/01.jpg>

3.2.2.3. Microcontrolador ATmega16u2 en Arduino UNO:

El Arduino UNO en su 3ra. Revisión (última) se le ha instalado un segundo microprocesador, aparte de su integrado principal el MCU ATmega328. El pequeño integrado que hay en la placa junto al conector USB, se trata de un ATmega16u2 cuya misión es dar el interfaz USB al Arduino UNO y comunicar los datos con el ATmega328p mediante el puerto serie. Se podría usar como microcontrolador completamente funcional y no solo un convertor de USB a Serial con ciertas modificaciones. Podríamos usar ambas MCUs en la misma placa, pudiendo descargar trabajo de la MCU principal en la secundaria.

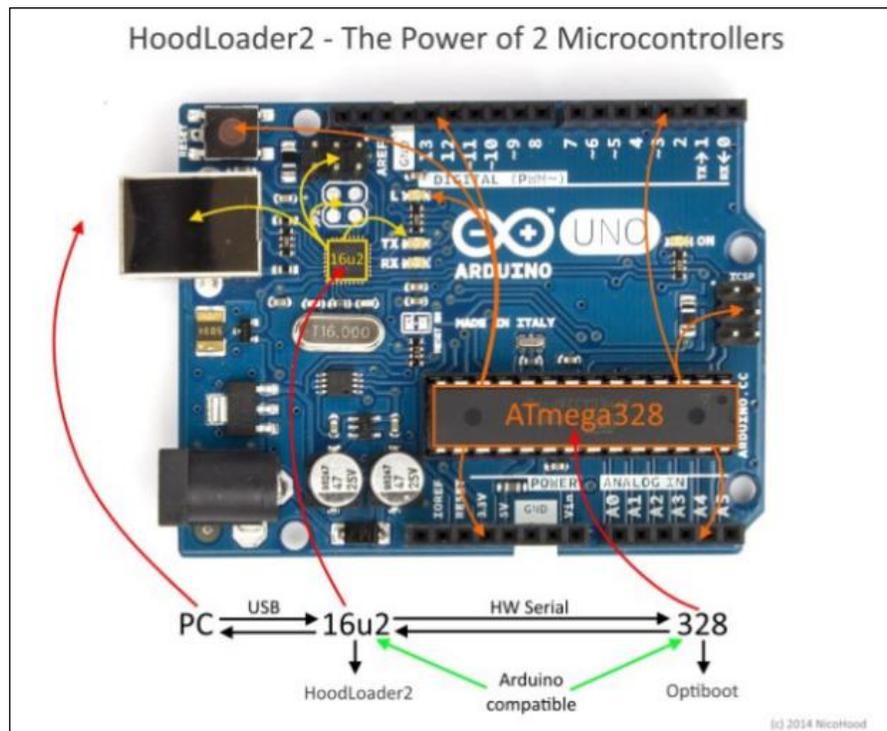


Figura 18: Arduino UNO y sus dos microcontroladores.

Fuente: <https://aprendiendoarduino.files.wordpress.com/2016/11/atmega16u2.png?w=625&h=512>

3.2.2.4. Esquemático Arduino UNO R3:

Los componentes y definición de patillajes del Arduino UNO es la siguiente:

- ✓ Posee un MCU ATMEGA16U2 especialmente programado para trabajar como conversor de USB a serie.No necesita de un cable FTDI para conectarse al MCU principal.
- ✓ **Puerto Serie** en los pines 0 y 1.
- ✓ **Interrupciones externas** en los pines 2 y 3.
- ✓ **Built-in LED** en el pin 13.
- ✓ **Bus TWI o I2C** en los pines A4 y A5 etiquetados como SDA y SCL o pines específicos.
- ✓ **El MCU ATmega328P** tiene un bootloader precargado que permite cargar en la memoria flash el nuevo programa o sketch sin necesidad de un HW externo.
- ✓ **Fusible re-armable** de intensidad máxima 500mA. Aunque la mayoría de pc's ya ofrecen protección interna se incorpora un fusible con la intención de

proteger tanto la placa Arduino como el bus USB de sobrecargas y cortocircuitos. Si circula una intensidad mayor a 500mA por el bus USB (Intensidad máxima de funcionamiento), el fusible salta rompiendo la conexión de la alimentación. (ArduinoDHTics)

- ✓ **Regulador de voltaje LP2985** de 5V a 3.3V que proporciona una corriente de alimentación máxima de 150 mA.

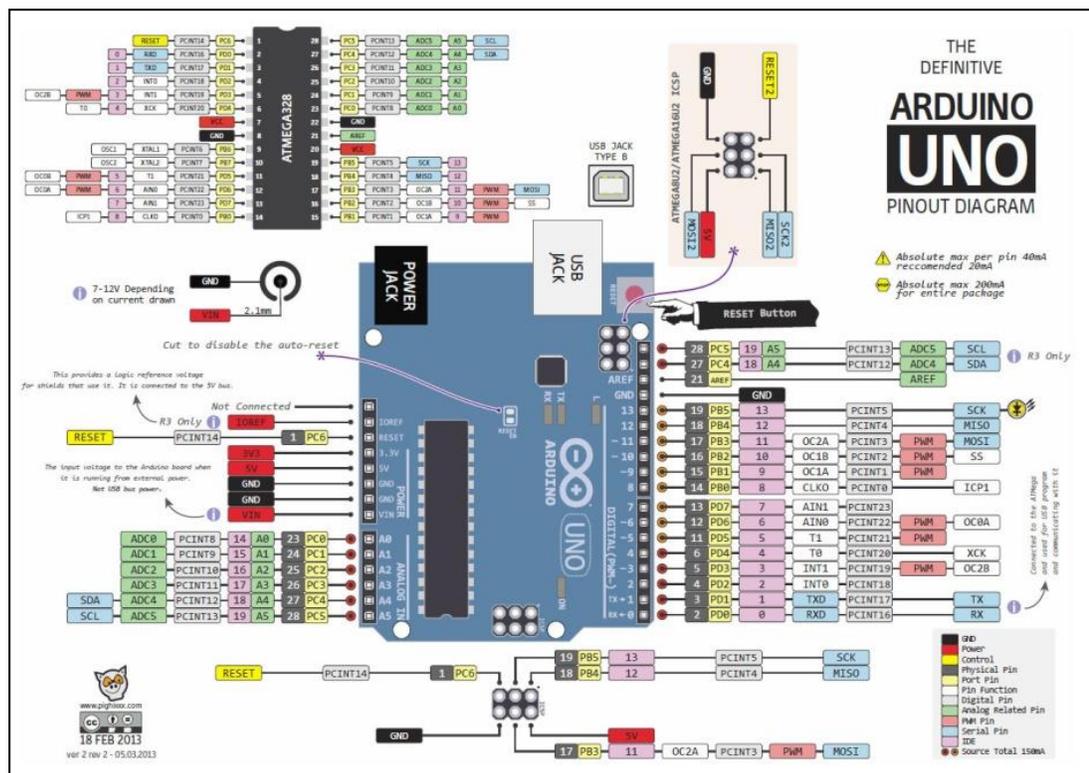


Figura 19: PINOUT ARDUINO UNO.

Fuente: <https://i2.wp.com/foros.giltesa.com/otros/arduino/fc/docs/pinout/uno.jpg>

- ✓ **Regulador de voltaje NCP1117** que proporciona un valor estable de 5V a la placa y soporta por encima de 1 A de corriente.

- ✓ **Diodo M7** en la entrada de alimentación de la placa. Con este diodo conseguimos establecer el sentido de circulación de la intensidad, de esta forma si se produce una contracorriente debido a la apertura de un relé u otros mecanismos eléctricos, el diodo bloquea dicha corriente impidiendo que afecte a la fuente de alimentación. (Jose Torres, 2014)

- ✓ **DFU-ICSP**. Puerto ICSP para el microcontrolador ATMEGA16U2, como en el caso del ATMEGA328P-PU se emplea para comunicarnos con el microcontrolador por el serial, para reflashearlo con el bootloader, hacer algunas modificaciones, ponerlo en modo DFU, etc. (Jose Torres, 2014)

- ✓ **JP2**. Pines libres del ATMEGA16U2, dos entradas y dos salidas para futuras ampliaciones.

- ✓ **RESET-EN**: Significa Reset enabled o reset habilitado. Está habilitado el auto-reset, para deshabilitar por cualquier tipo de seguridad (por ejemplo, un proyecto que tenemos funcionando y no queremos que nadie lo reinicie al conectar un USB y detecte un stream de datos) debemos desoldar los pads RESET-EN y limpiarlos de forma que estén aislados el uno del otro. (Jose Torres, 2014)

✓ **Cristal oscilador de 16MHz** necesario para el funcionamiento del reloj del microcontrolador ATMEGA16U2.

✓ **Resonador cerámico de 16 MHz** para el microcontrolador ATMEGA328P-PU.

Los resonadores cerámicos son menos precisos que los cristales osciladores, pero para el caso hace perfectamente la función y ahorramos bastante espacio en la placa. Se trata del pequeño, porque el cristal grande es para el 16U2

3.2.2.5. ¿Cómo Funciona La Plataforma Arduino?

El Arduino es una placa basada en un microcontrolador, específicamente un ATMEL. El microcontrolador es un circuito integrado (podríamos hablar de un microhip, como lo muestra la figura 26) en el cual se pueden grabar instrucciones, estas instrucciones se escriben utilizando un lenguaje de programación que permite al usuario crear programas que interactúan con circuitos electrónicos. (Jose Torres, 2014)

En esa pequeña pieza de silicio se encuentran millones de transistores y otros componentes electrónicos que realizan operaciones lógicas en conjunto y permiten que el microcontrolador funcione. Se utiliza un lenguaje de programación llamado Arduino para darle instrucciones a este dispositivo. (Jose Torres, 2014) (Antony García González, 2015)



Figura 20: Microcontroladores
Fuente: www.arnerobotics.com.br

Digamos que el microcontrolador es el “cerebro” del Arduino. Este posee además un cristal oscilador que vendría siendo el “corazón”; el voltaje con el que se alimenta el Arduino es la presión sanguínea y la corriente que lo hace funcionar es la sangre que fluye a través de sus circuitos.

En el cerebro podemos grabar instrucciones utilizando una conexión entre una computadora y el Arduino a través de USB. El lenguaje Arduino, derivado de C, es mucho más amigable que el utilizado por otros microcontroladores, el Assembler. (Antony García González, 2015)

Al colocar un algoritmo en la memoria del microcontrolador lo que intentamos es enseñarle a un dispositivo electrónico a comportarse de tal forma ante una situación dada.

Como pasa con la mayoría de las placas microcontroladores las funciones de Arduino pueden resumirse en tres.

- ✓ En primera instancia, tenemos una interfaz de entrada, que puede estar directamente unida a los *periféricos*, o conectarse a ellos por puertos. El objetivo de esa interfaz de entrada es llevar la información exterior hacia el microcontrolador, la pieza encargada de procesar los datos.⁷

- ✓ En segunda tenemos, el microcontrolador, que procesa los datos y ejecuta las instrucciones del programa, este dispositivo varía dependiendo de las necesidades del proyecto en el que se desea usar la placa, y hay una buena variedad de fabricantes y versiones disponibles.⁸

- ✓ Por último, tenemos una interfaz de salida, que lleva la información procesada a los periféricos que son encargados de hacer el uso final de los datos. En algunos casos puede tratarse de otra placa en la que se centralizará y procesará nuevamente la información, o sencillamente, por ejemplo, una pantalla o un altavoz encargada de *mostrar* la versión final de los datos.

⁷ (Jesus Ruben, 2016)

⁸ (Jesus Ruben, 2016)

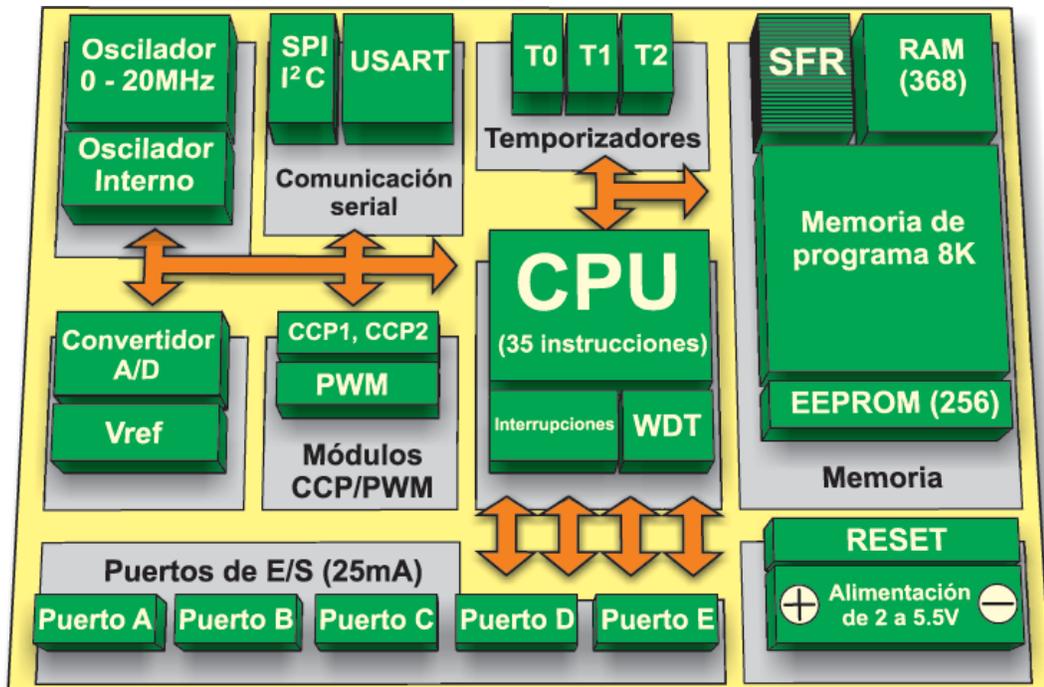


Figura 21: Estructura Arduino

Fuente: <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/tag/microcontroladores/>

3.2.2.6. Familia Microcontroladores Atmel:

Arduino tiene como unidad central los microcontroladores, este dispositivo es un circuito integrado programable generalmente abreviado como: μ C, UC o MCU, que es capaz de ejecutar las órdenes grabadas en su memoria. Está compuesto de varios bloques funcionales, los cuales cumplen una tarea específica.

Características de un Microcontrolador:

- ✓ Velocidad del reloj u oscilador
- ✓ Tamaño de palabra
- ✓ Memoria: SRAM, Flash, EEPROM, ROM, etc.

- ✓ I/O Digitales
- ✓ Entradas Analógicas
- ✓ Salidas analógicas (PWM)
- ✓ DAC (Digital to Analog Converter)
- ✓ ADC (Analog to Digital Converter)
- ✓ Buses
- ✓ UART
- ✓ Otras comunicaciones.

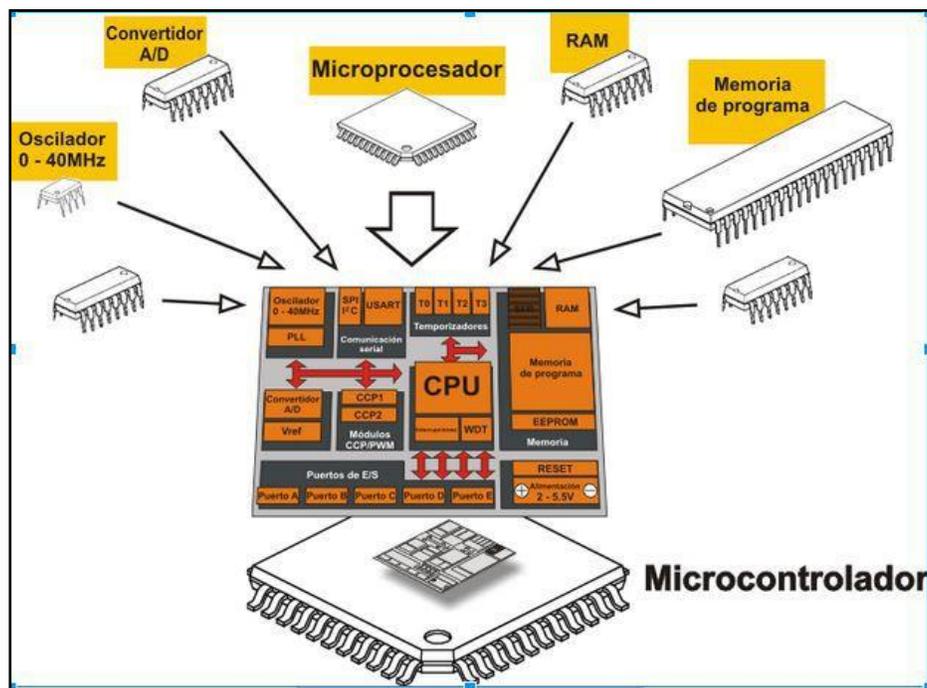


Figura 22. ESTRUCTURA MICROCONTROLADOR.

Fuente: <https://aprendiendoarduino.files.wordpress.com/2014/11/microcontrolador.jpg?w=623&h=461>

Las placas Arduino utilizan principalmente microcontroladores de la gama AVR de Atmel, que son microcontroladores tipos RISC. La tecnología RISC es el acrónimo de

“Reduced Instruction Set Computer” lo que en español viene a ser “Conjunto Reducido de Instrucciones de Computadora”. Se entiende por procesador RISC aquel que tiene un conjunto de instrucciones con unas características determinadas.

Este tipo de instrucciones RISC son más sencillas de implementar en la propia CPU, ocupan menos espacio y los bloques lógicos son más pequeños, permitiendo que el microcontrolador pueda ejecutar instrucciones en el sistema a mayor frecuencia de funcionamiento, ofrece además una mayor eficiencia energética que su contraparte CISC.

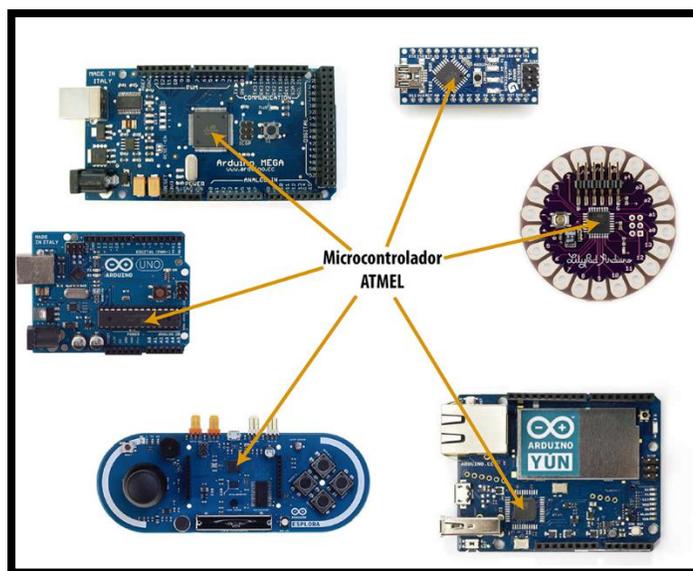


Figura 23: Microcontrolador ATMEL en placas de Arduino.

Fuente: <http://panamahitek.com/wp-content/uploads/2015/05/arduino.png>

Arduino está constituido en el hardware por un micro controlador principal llamado Atmel AVR de 8 bits (que es programable con un lenguaje de alto nivel), presente en la mayoría de los modelos de Arduino, encargado de realizar los procesos lógicos y

matemáticos dentro de la placa, además de controlar y gestionar los recursos de cada uno de los componentes externos conectados a la misma. (Antony García González, 2015)

Los microcontroladores mayormente usados son el Atmega168, Atmega328, Atmega1280 y el Atmega8, debido a sus bajos precios y gran flexibilidad para construir diversidad de diseños.

Un microcontrolador incluye en su interior las tres principales unidades funcionales de una computadora: Unidad Central De Procesamiento, Memoria Y Periféricos De Entrada/Salida.

3.2.2.7. Software:

Arduino, no sólo son componentes eléctricos ni una placa de circuitos, sino que, además es una plataforma que combina esto con un lenguaje de programación que sirve para controlar los distintos sensores que se encuentran conectados a la placa. (ArduinoDHTics)

Este lenguaje que opera dentro de Arduino se llama **Wiring**, basado en la plataforma **Processing** y primordialmente en el lenguaje de programación C/C++, que se ha vuelto popular a tal grado de ser el más preferido para enseñar programación a alumnos de nivel superior que estudian computación y robótica, gracias que es muy fácil de aprender y

brinda soporte para cualquier necesidad de computación. La Interfax del programa donde se introducen los códigos se llama Arduino IDE, la podemos ver en la figura 24.

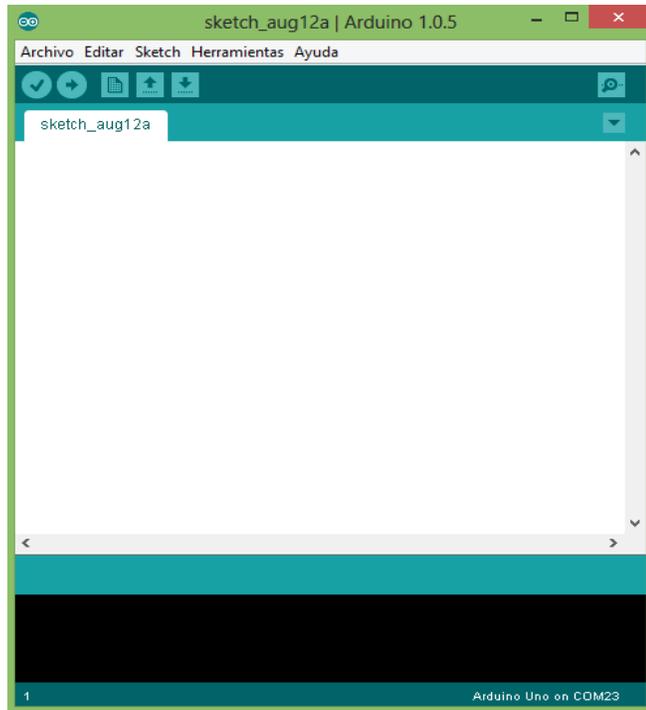


Figura 24: Arduino IDE

Fuente: <http://panamahitek.com/wp-content/uploads/2013/08/netbeans-ide21.png>

De este lenguaje derivan otros más que son muy utilizados en el ámbito de Ingeniería y desarrollo, como C#, Java, BASIC, Php, Phytom, JavaScript, Perl, entre otros más; por lo tanto, Arduino soporta varios lenguajes de programación de alto nivel derivados de C, haciendo de esto una ventaja para los diseñadores que trabajan en varios o en 1 sólo entorno de desarrollo de programación. (ArduinoDHTics).

Para poder trabajar desde el nivel programación del procesador, debe descargarse el software que incluye las librerías necesarias para poder utilizar el lenguaje de manera completa.

Otra ventaja es que este software puede descargarse desde el sitio web oficial de Arduino, ya que opera bajo licencia libre y está disponible a todo público. Su versión más reciente para todos los sistemas operativos es la versión Arduino 1.8.1.

3.2.2.8. Comunicación:

Arduino utiliza un convertidor de Serial a USB, por lo cual a la hora de conectarlo a una computadora simplemente utilizamos una conexión USB común y corriente. La computadora, sin embargo, verá nuestro Arduino como un dispositivo conectado al Puerto Serie. La comunicación serial es un protocolo de comunicación que alguna vez fue muy utilizado a través de los puertos serie que traían las computadoras de antaño. Un puerto de comunicación serial que utilizaban los Arduino se muestra en la figura 25. (Antony García González, 2015)



Figura 25. Puerto de comunicacion Serial.

Fuente: http://panamahitek.com/wp-content/uploads/2015/05/Serial_port.jpg

Todos los modelos de Arduino son capaces de comunicarse con una computadora por medio de una conexión USB (de hecho, se utiliza un convertidor de RS232 a USB, por lo que Arduino en realidad se comunica con la computadora por medio de Comunicación Serial). Esto permite interactuar con aplicaciones escritas en una amplia variedad de lenguajes de programación, como Visual Basic, C++, Java y cualquier otro lenguaje capaz de establecer comunicación con el Puerto Serie de la computadora. (Antony García González, 2015)

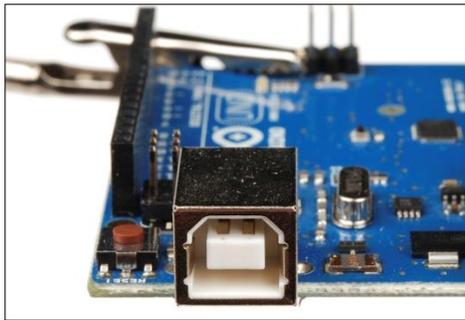


Figura 26: Puerto USB Arduino.

Fuente: <https://cdn.sparkfun.com/assets/5/3/d/3/b/5113e953ce395fbf7d000007.JPG>

La integración de los proyectos en Arduino con lenguajes de programación de Alto Nivel hacen que Arduino pueda ser considerado en proyectos a nivel científico y en ingeniería.

El envío de información desde la computadora resulta muy fácil con la comunicación serial. Arduino puede recibir datos enviados por el usuario utilizando herramientas que el Arduino IDE trae en su diseño. Se le puede indicar al Arduino que al recibir determinada

instrucción ejecute algún tipo de acción. Podemos obtener información útil y sumamente interesante si hacemos uso de sensores.

Recientemente algunos modelos de Arduino están incorporando, además del microcontrolador principal Atmel, otro microprocesador (Arduino Yún), lo cual le permite ejecutar sistemas operativos dentro del mismo: como Linux. Esto permite amplificar el poder de procesamiento y las capacidades en varios órdenes de magnitud si los comparamos con los modelos iniciales.

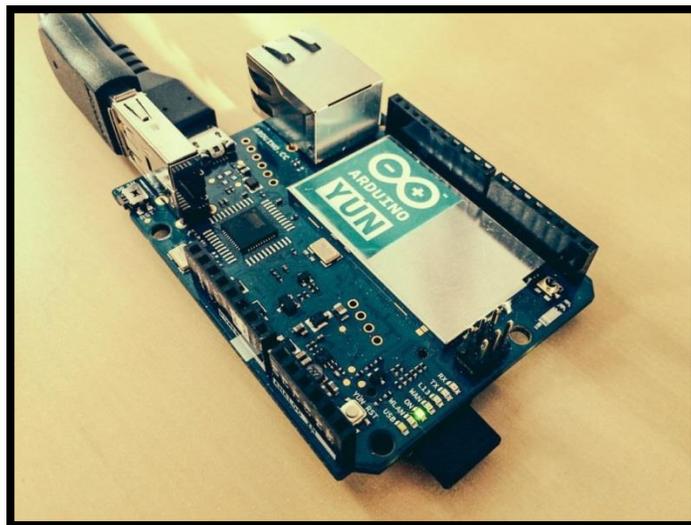


Figura 27: Arduino YUN.

Fuente: <http://panamahitek.com/wp-content/uploads/2015/05/foto2.jpg>

3.2.2.9. Ventajas de utilizar Arduino:

Costos

Una de las principales características de Arduino es su bajo costo. Debido a que se trata de una plataforma de hardware libre, cualquier persona o grupo de personas con la tecnología necesaria para el diseño de dispositivos electrónicos (placas impresas, soldadura de componentes electrónicos, etc.) puede fabricar placas Arduino sin ningún tipo de implicación legal.

La marca Arduino diseña sus propias placas, los Arduino originales, manufacturados en Italia y recientemente en Estados Unidos. Los modelos americanos se conocen como Arduino, mientras que los modelos italianos son llamados Genuino.

Tanto en Los Estados Unidos como en Asia (específicamente China, Japón y Taiwán) existen compañías dedicadas a la fabricación de placas genéricas que presentan el mismo aspecto visual y las mismas características (la mayor parte del tiempo) que un Arduino original.

Hoy día, adquirir un Arduino resulta relativamente fácil y económico, especialmente debido a su amplia presencia en portales de ventas por Internet como Ebay y Amazon, entre otros. De igual forma, la inmensa cantidad de sensores y placas de expansión que ha sido diseñado para Arduino (no necesariamente de la marca Arduino) y sus bajos precios,

permite que esta tecnología sea considerada para toda clase de proyectos con presupuestos limitados.

Disponibilidad

Como se ha mencionado, tanto los diferentes modelos de Arduino, como las placas de expansión y sensores utilizados con Arduino pueden ser adquiridos a bajos costos en los portales de compra/venta en Internet.

Poco a poco, a medida que pasa el tiempo se ha incrementado la presencia de tiendas especializadas en la venta de productos Arduino o relacionados a esta plataforma, en los países de América Latina. Algunos comercios que tradicionalmente se han dedicado a la venta de productos electrónicos, están incluyendo a Arduino entre los productos que ofrecen a sus clientes, dada la creciente demanda. (Datasheet MPX4250)

Flexibilidad

Los diferentes modelos de Arduino disponibles en el mercado comparten una característica. Todos son placas pequeñas, compactas y con gran capacidad para llevar a cabo tareas que van desde encender un simple LED hasta controlar el encendido de un motor trifásico. El reducido tamaño de algunos modelos, como el Arduino Micro o el Arduino Nano permite que puedan ser insertados en una placa electrónica, tal cual circuito integrado.

3.2.3. SENSOR DE HUMEDAD Y TEMPERATURA (DHT11):

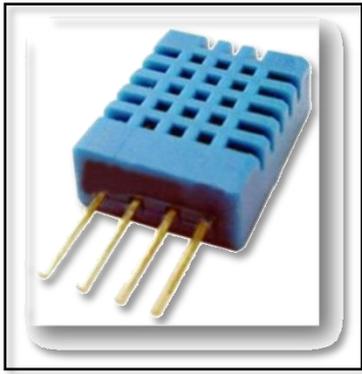


Figura 28: Sensor DHT11

Fuente: (Datasheet) D-Robotics UK (www.droboticsonline.com)

El sensor de temperatura y humedad DHT11, es un dispositivo utilizado para medir los parámetros de Temperatura y Humedad Relativa dentro, en este caso, del cuarto limpio.

Utiliza un sensor capacitivo de humedad y un termistor para medir el aire circundante, y muestra los datos mediante una señal digital en el pin de datos (no hay pines de salida analógica). Utilizando la técnica exclusiva de adquisición de señales digitales y la tecnología de detección de temperatura y humedad, garantiza una alta fiabilidad y una excelente estabilidad a largo plazo.

Este sensor incluye un componente de medición de humedad de tipo resistivo y un componente de medición de temperatura NTC, y se conecta a un microcontrolador de alto rendimiento de 8 bits, ofreciendo excelente calidad, respuesta rápida, capacidad anti-interferencia y rentabilidad.

Es bastante simple de usar, pero requiere sincronización cuidadosa para tomar datos. El único inconveniente de este sensor es que sólo se puede obtener nuevos datos una vez cada 2 segundos, así que las lecturas que se pueden realizar serán mínimas cada 2 segundos.

Cada elemento del DHT11 está estrictamente calibrado en el laboratorio que es extremadamente preciso en la calibración de humedad. Los coeficientes de calibración se almacenan como programas en la memoria OTP, que son utilizados por el proceso de detección de señal interna del sensor. La interfaz en serie de un solo hilo hace que la integración del sistema sea rápida y fácil. Su pequeño tamaño, bajo consumo de energía y transmisión de señal de hasta 20 metros lo convierten en la mejor opción para diversas aplicaciones, incluyendo las más exigentes. El componente es de 4 pines de una sola hilera de paquetes. Es conveniente conectar y los paquetes especiales se pueden proporcionar según la petición de los usuarios. (Datasheet DHT11)

3.2.3.1. Especificaciones Técnicas:

- ✓ Alimentación: $3V_{dc} \leq V_{cc} \leq 5V_{dc}$
- ✓ Rango de medición de temperatura: 0 a 50 °C
- ✓ Precisión de medición de temperatura: ± 2.0 °C
- ✓ Resolución Temperatura: 0.1°C
- ✓ Rango de medición de humedad: 20% a 90% RH.

- ✓ Precisión de medición de humedad: 4% RH.
- ✓ Resolución Humedad: 1% RH
- ✓ Tiempo de sensado: 1 seg.
- ✓ Tamaño 15.5mm x 12mm x 5.5mm.
- ✓ Conexión de 4 pines.

| Parameters | Conditions | Minimum | Typical | Maximum |
|--------------------------------|---------------------------|---------|------------|---------|
| Humidity | | | | |
| Resolution | | 1%RH | 1%RH | 1%RH |
| | | 8 Bit | | |
| Repeatability | | | ±1%RH | |
| Accuracy | 25°C | | ±4%RH | |
| | 0-50°C | | | ±5%RH |
| Interchangeability | Fully Interchangeable | | | |
| Measurement Range | 0°C | 30%RH | | 90%RH |
| | 25°C | 20%RH | | 90%RH |
| | 50°C | 20%RH | | 80%RH |
| Response Time (Seconds) | 1/e(63%)25°C, 1m/s Air | 6 S | 10 S | 15 S |
| Hysteresis | | | ±1%RH | |
| Long-Term Stability | Typical | | ±1%RH/year | |
| Temperature | | | | |
| Resolution | | 1°C | 1°C | 1°C |
| | | 8 Bit | | |
| Repeatability | | | ±1°C | |
| Accuracy | | ±1°C | | ±2°C |

| | | | | |
|--------------------------------|----------|-----|--|------|
| | | | | |
| Measurement Range | | 0°C | | 50°C |
| Response Time (Seconds) | 1/e(63%) | 6 S | | 30 S |

Tabla 7: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS SENSOR DHT11
Fuente: (Datasheet) D-Robotics UK (www.droboticsonline.com)

3.2.3.2. Conexión con Arduino UNO:

La siguiente imagen muestra como conectar el DHT11 a una Arduino UNO. Esta conexión aplica para otros modelos de Arduino como es el Leonardo, Mega, etc.

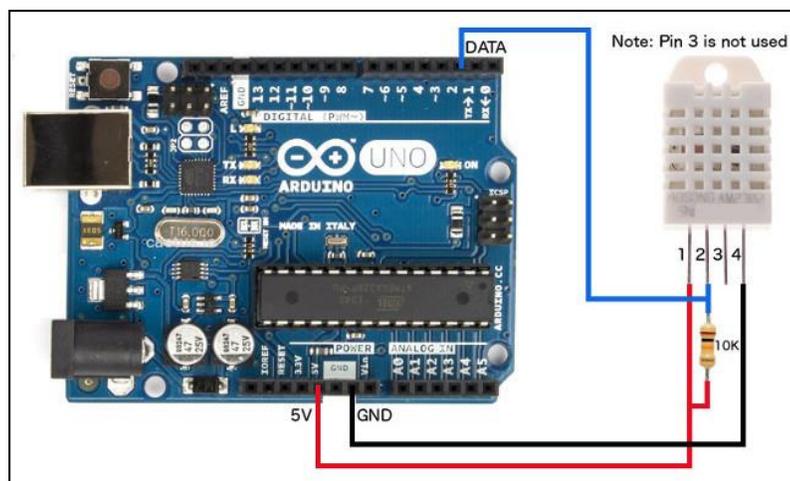


Figura 29: DHT11 con Arduino
Fuente: <http://static.cactus.io/img/hookups/arduino/hookup-arduino-to-dht22-sensor.jpg>

Se tiene una resistencia que se coloca cuando el cable de conexión es de menos de 20 metros, se recomienda una resistencia de 5K pull-up; Cuando el cable de conexión tenga más de 20 metros, se coloca una resistencia pull-up de 10K.

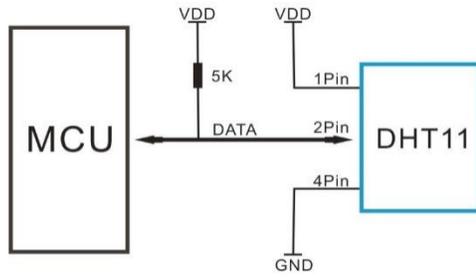


Figura 30: Conexión en bloques con Arduino
Fuente: (Datasheet) D-Robotics UK (www.droboticsonline.com)

3.2.3.3. Pinout DHT11:

Los sensores DHT11 cuentan con cuatros pines:

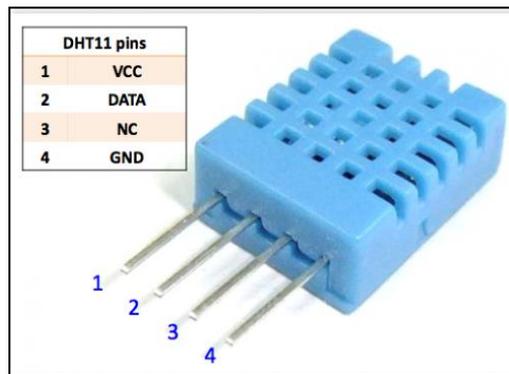


Figura 31: Patillaje Sensor DHT11
Fuente: <http://domoticx.com/wp-content/uploads/DHT11-Pinout-300x217.png>

- ✓ VCC (3.3Vdc A 5Vdc) (pin 1)
- ✓ Salida de datos (pin 2)
- ✓ No se conecta (pin 3)
- ✓ GND (pin 4)

3.2.3.4. Proceso de Comunicación y Transmisión de datos del DHT11:

El proceso de comunicación y transmisión de datos del sensor DHT11 se realiza de la siguiente manera:

1. En primer lugar, el MCU envía una señal de inicio al sensor, lo cual provoca que el DHT11 pase del modo “low-power-consumption” al modo “running-mode”.
2. Ya en running-mode, el DHT11 obtiene la información del ambiente, luego se envía una señal de respuesta de datos de 40 bits que incluyen la información de humedad relativa y temperatura a MCU; en este momento el usuario puede elegir recopilar (leer) la información que el sensor ha registrado en el ambiente.
3. Sin la señal de inicio de MCU, DHT11 no dará la señal de respuesta a MCU. Una vez que los datos son recolectados, DHT11 cambiará al modo de bajo consumo de energía hasta que reciba de nuevo una señal de inicio de MCU.

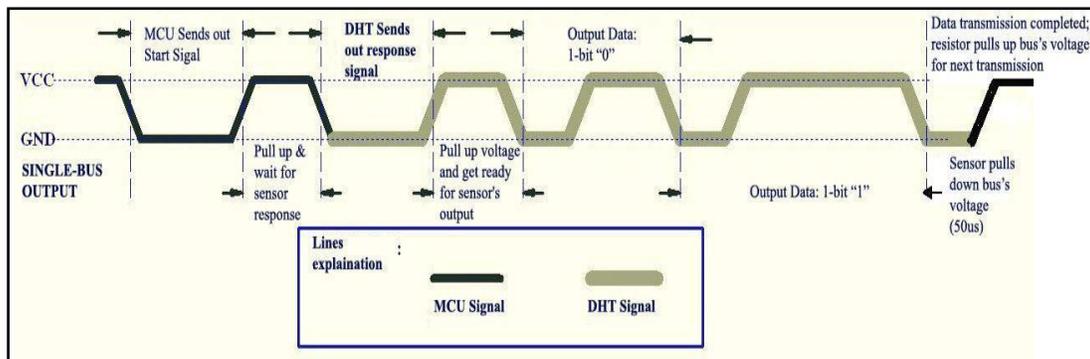


Figura 32: Proceso de Comunicación y Transmision del DHT11.
Fuente: : (Datasheet) D-Robotics UK (www.droboticsonline.com)

3.2.4. SENSOR DE PRESION DIFERENCIAL (MPX4250):



Figura 33: SENSOR MPX4250

Fuente: http://www.electronicoscaldas.com/669-home_default/sensor-de-presion-mpx4115ap.jpg

El sensor integrado de presión de aire es del rango 0 a 250 kPa (0 a 36.3 psi), de medida diferencial con dos puertos y acondicionamiento de señal on-chip, está bien calibrado y compensado en temperatura cuyo rango de trabajo de voltaje de salida es de 0.2 V a 4.9 V.

La serie de transductores piezoresistivos MPX4250 consta de sensores monolíticos de silicio que miden presión de aire, diseñados para una gran variedad de aplicaciones, pero especialmente aquellas que emplean microprocesadores o microcontroladores con entradas A/D. Provee una salida de voltaje análogo de nivel alto que es proporcional a la presión aplicada. (Datasheet MPX4250) (Datasheet MPX4250)

Este transductor combina avanzadas técnicas de micro-mecanizado, metalización de película delgada y procesamiento bipolar para proporcionar una señal de salida analógica precisa y de alto nivel que es proporcional a la presión aplicada. El pequeño factor de forma

y la alta fiabilidad de la integración en el chip hacen que el sensor Freescale sea una opción lógica y económica para el ingeniero de sistemas automotrices.

3.2.4.1. Rango de Operación (MPX4250):

Las características de operación y rango de trabajo del sensor de presión diferencial MPX5250 se muestran en la siguiente tabla:

| Characteristic | Symbol | Min | Typ | Max | Units |
|--|------------------|-------|-------|-------|-------------------|
| Differential Pressure Range ⁽¹⁾ | P _{OP} | 20 | — | 250 | kPa |
| Supply Voltage ⁽²⁾ | V _S | 4.85 | 5.1 | 5.35 | V _{DC} |
| Supply Current | I _O | — | 7.0 | 10 | mAdc |
| Minimum Pressure Offset ⁽³⁾ @ V _S = 5.1 Volts | V _{OFF} | 0.133 | 0.204 | 0.274 | V _{DC} |
| Full Scale Output ⁽⁴⁾ @ V _S = 5.1 Volts | V _{FSS} | 4.826 | 4.896 | 4.966 | V _{DC} |
| Full Scale Span ⁽⁵⁾ @ V _S = 5.1 Volts | V _{FSS} | — | 4.692 | — | V _{DC} |
| Accuracy ⁽⁶⁾ | — | — | — | ±1.5 | %V _{FSS} |
| Sensitivity | ΔV/ΔP | — | 20 | — | mV/kPa |
| Response Time ⁽⁷⁾ | t _R | — | 1.0 | — | msec |
| Output Source Current at Full Scale Output | I _{O+} | — | 0.1 | — | mAdc |
| Warm-Up Time ⁽⁸⁾ | — | — | 20 | — | msec |
| Offset Stability ⁽⁹⁾ | — | — | ±0.5 | — | %V _{FSS} |

Tabla 8: RANGO OPERACIÓN MPX4250
Fuente: (Datasheet) Freescale Semiconductor

Características generales que posee el dispositivo:

- Error máximo: 1.4% sobre el rango de temperatura 0 a 85 °C

- Medida diferencial
- 2 Puertos
- Voltaje de alimentación: 4.85 V a 5.35 V (típico: 5.1 V)
- Corriente típica: 7mA
- Sensibilidad: 18.8 mV/kPa
- Compensado en temperatura sobre el rango -40 a +125 °C
- Tiempo de respuesta: 1 ms
- Warm-Up Time: 20 ms
- Presión en P1 debe ser siempre mayor o igual a P2
- Presión máxima en P1: 1000 kPa (145 psi) (P1>P2)
- Puerto P1 protegido con gel de fluorosilicona
- Cuerpo durable de Epoxy
- Temperatura de operación: -40 a +125 °C
- Encapsulado: Unibody CASE 867C de 6 pines

3.2.4.2. Pinout Sensor Presión MPX4250:

En la figura 41 se muestra el patillaje del MPX4250, cabe decir que en este dispositivo los tres primeros pines son los correspondientes a la DATA, GND y VCC respectivamente y los tres restantes no tienen conexión (NC).

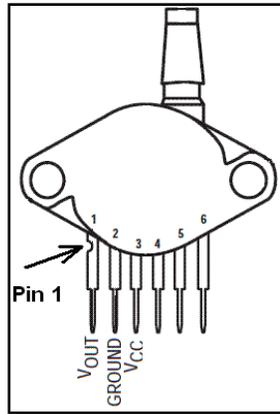


Figura 34: PATILLAJE SENSOR MPX4250
Fuente: <http://emoretto.files.wordpress.com/2011/03/mpx4250ap.gif>

Para alimentar el sensor se recomienda realizar los siguientes acoples tanto en la entrada del MPX4250 como en la salida, colocando los capacitores correspondientes: 1.0uF, 0.01uF y 470pF, como se muestra en la figura 35. Todo esto para ayudar a filtrar adecuadamente las señales y proveer mayor estabilidad al sistema y el sensor.

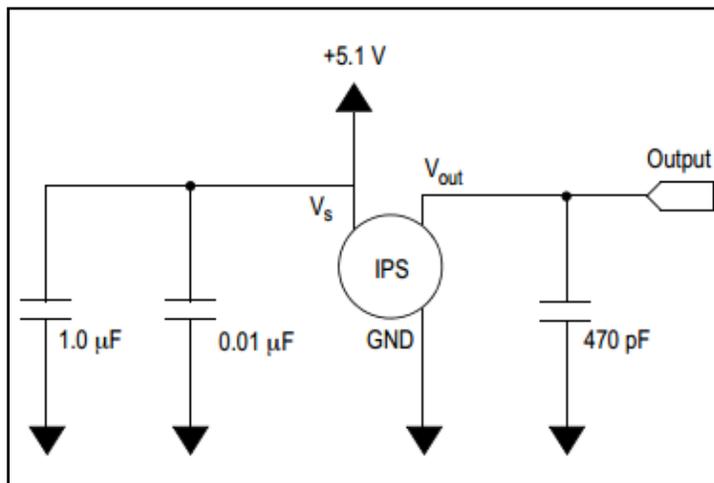


Figura 35: ALIMENTACION MPX4250
Fuente: <http://niyazk007.blogspot.com/2014/07/barometer-using-mpx4115-and-atmega-32.html>

3.2.4.3. Función de transferencia del MPX4250:

La fórmula de transferencia nominal nos permite obtener el valor de la presión medida por el dispositivo, tomando en cuenta el margen de error del sensor, el factor de temperatura y las constantes de presión.

| | |
|--------------------------------|--|
| Nominal Transfer Value: | $V_{OUT} = V_S (P \times 0.004 - 0.04)$ $\pm (\text{Pressure Error} \times \text{Temp. Factor} \times 0.004 \times V_S)$ $V_S = 5.1 \text{ V} \pm 0.25 V_{DC}$ |
|--------------------------------|--|

Formula 2: Formula Transferencia Nominal
Fuente: (Datasheet) Freescale Semiconductor

El resultado de la fórmula, es importante analizarlo, nos suministra una gráfica que muestra el comportamiento del sensor con resultados de voltaje de salida análogo y su correspondiente valor de presión existente en el ambiente. Esto se muestra en la figura 43.

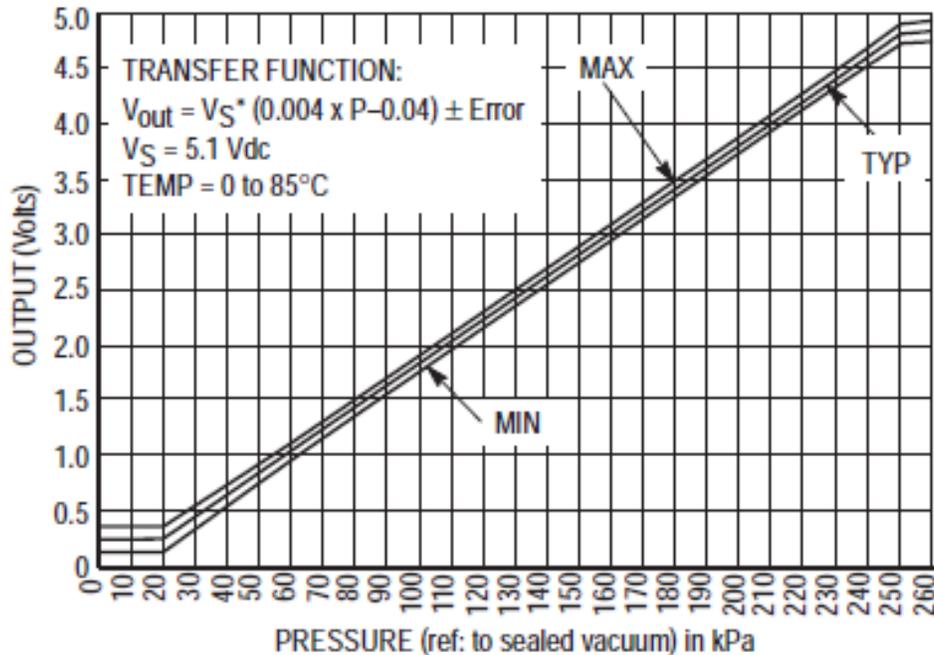


Figura 36: FUNCION DE TRANSFERENCIA (MPX4250)
 Fuente: (Datasheet) Freescale Semiconductor

Además, se muestra la señal de salida del sensor relativa a la entrada de presión. Las curvas de salida típicas, mínimas y máximas se muestran para el funcionamiento en un rango de temperatura de 0 ° C a 85 ° C usando el circuito de desacoplamiento mostrado en la Figura 36. Se exponemos el sensor a ambientes y circunstancias fuera del rango de presión especificado, la salida se saturará y su valor se verá seriamente afectado.

3.2.4.4. Conectando el MPX4250 con el Arduino UNO:

Para conectar el MPX4250 con el Arduino UNO se requiere hacer la configuracion de acople con capacitores como se muestra en figura 36, luego realizar la conexión hacia las

entradas análogas del arduino y alimentar ambos dispositivos. La configuración completa debe quedar como lo muestra la siguiente figura 44.

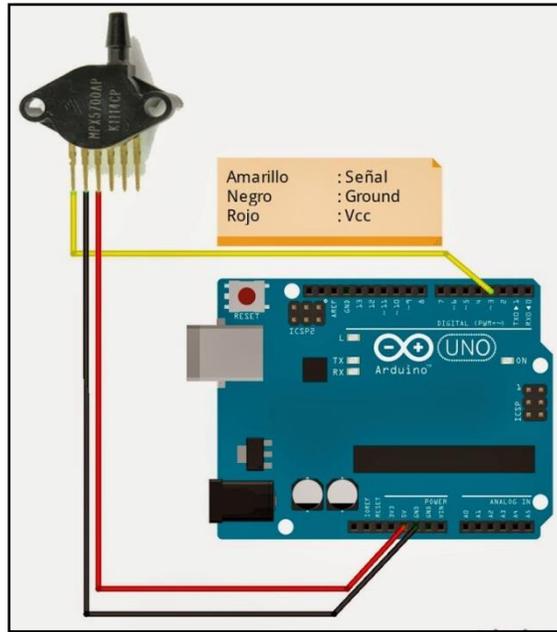


Figura 37: CONEXIÓN ARDUINO UNO Y MPX4250

Fuente: http://1.bp.blogspot.com/-RfTqgSf0Zh0/VLMwZL9B_jI/AAAAAAAAAN0/2sK6kR0_T8Y/s1600/Sketch.jpg

El Arduino necesita analizar el valor medido del MPX4250 y el sensor entrega un resultado analógico de voltaje, por lo tanto se requiere generar un programa o sketch en el software de arduino para que decodifique el resultado análogo y lo traduzca a un valor de presión en unidades de Kpa.

3.2.5. SENSOR DE PARTICULADO (SHARP DUST SENSOR GP2Y1010AU0F):



Figura 38: SENSOR PARTICULADO SHARP GP2Y1010AU0F

Fuente: http://rlx.sk/8253-tm_thickbox_default/dust-sensor-waveshare-sharp-gp2y1010au0f.jpg

El sensor de particulado GP2Y1010AU0F de Sharp es un sensor de calidad óptica del aire, diseñado para detectar partículas de polvo y determinar el nivel de particulado del aire. Está basado en un diodo emisor de infrarrojos y un fototransistor que están dispuestos diagonalmente en este dispositivo (dentro del encapsulado negro y de aluminio), para permitir que detecte la luz reflejada de polvo en el aire.

Es especialmente eficaz en la detección de partículas muy finas como las partículas de polvo, el humo del cigarrillo, etc. y se utiliza comúnmente en sistemas purificadores de aire. El sensor tiene un consumo de corriente muy bajo (20mA Max, 11mA típico), y puede ser alimentado con hasta 7VDC. La salida del sensor es una tensión analógica proporcional a la densidad de polvo medida, con una sensibilidad de $0.5V / 0.1mg / m^3$.

La placa azul PCB del dispositivo se utiliza como interfaz para comunicar el encapsulado del sensor con el sistema del Arduino, por medio de un cable bus de 4 hilos.

3.2.5.1. Pinout Sensor Particulado GP2Y1010AU0F:

Asignación de pines de salida/entrada del sensor hacia el Arduino UNO:

| Pin No. | Symbol | Description |
|---------|------------------|----------------------------|
| 1 | V _{CC} | Supply voltage (2.5V-5.5V) |
| 2 | GND | Ground |
| 3 | A _{OUT} | Analog voltage output |
| 4 | I _{LED} | LED terminal current |

Tabla 8: PATILLAJE DEL SHARP GP2Y1010AU0F

Fuente: Dust sensor user manual

Asignación de pines de INTERNO sensor, esta es la conexión existente entre el encapsulado de aluminio y la placa PCB del dispositivo:

| Sharp Dust Sensor | Attached To |
|-------------------|-------------------------------|
| 1- (V-LED) | 3.3V Pin (150 Ohm in between) |
| 2- (LED-GND) | GND Pin |
| 3- (LED) | Digital Pin 12 |
| 4- (S-GND) | GND Pin |
| 5- (Vo) | Analog Pin A6 |
| 6- (Vcc) | 3.3V Pin (Direct) |

Tabla 9: PATILLAJE INTERNO DEL SHARP GP2Y1010AU0F

Fuente: <http://arduino.dev.woofex.net/2012/12/01/standalone-sharp-dust-sensor/>

El rango de operación del sensor de particulado se muestra en la figura 39, se detalla el voltaje de entrada recomendado, la temperatura del ambiente optimo y voltaje del LED infrarrojo que junto al foto transistor, realizan la lectura del nivel de particulado existente en el ambiente.

Absolute Maximum Ratings

(T_a=25°C)

| Parameter | Symbol | Rating | Unit |
|---------------------------|------------------|-------------------------|------|
| Supply voltage | V _{CC} | -0.3 to +7 | V |
| *1 Input terminal voltage | V _{LED} | -0.3 to V _{CC} | V |
| Operating temperature | T _{opr} | -10 to +65 | °C |
| Soldering temperature | T _{sol} | -20 to +80 | °C |

*1 Open drain drive input

Figura 39: RANGO DE OPERACIÓN DEL GP2Y1010AU0F
Fuente: Dust sensor user manual

3.2.5.2. Conectando el GP2Y1010AU0F con el Arduino UNO:

En la figura 46 se muestra la conexión correspondiente para comunicar el sensor de particulado con el Arduino UNO. Este sensor registra la calidad del aire y su resultante es un voltaje de salida analógico, por lo cual se requiere el sketch correspondiente cargado en el Arduino UNO.

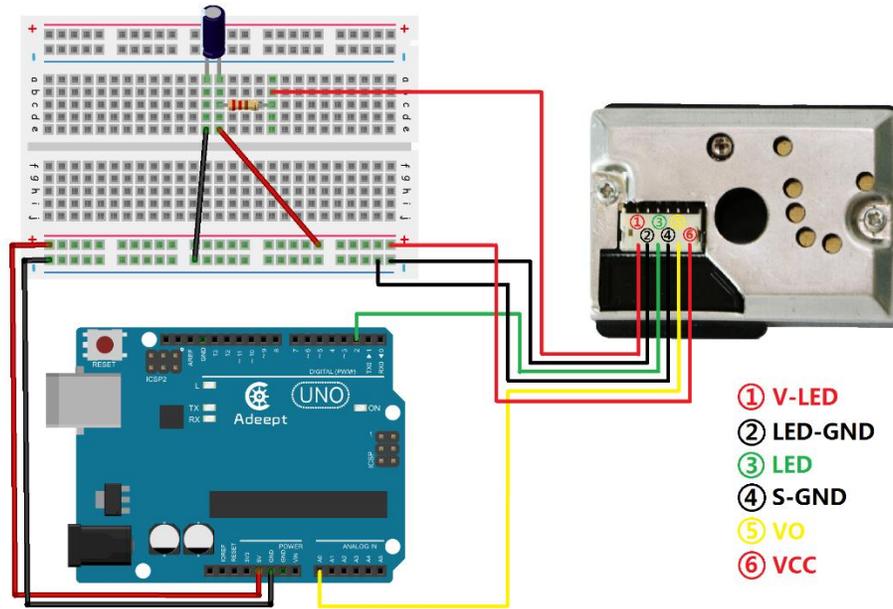


Figura 40: CONEXIÓN GP2Y1010AU0F CON ARDUINO UNO

Fuente: <http://www.adeept.com/data/uploads/2016/12/27/4b0d44964f9445e4e6095058c41cb195.png>

3.3. DISEÑO DEL SISTEMA AUTOMÁTICO DE SUPERVISIÓN DE CUARTO LIMPIO

El sistema de supervisión de parámetros de cuartos limpios tiene como objetivo mantener bajo supervisión continua el rango de los parámetros de temperatura, humedad relativa, presión diferencial y nivel particulado que se mantienen dentro del cuarto limpio, además de alertar al personal responsable sobre cualquier exclusión o irregularidad de la condición de estos parámetros del área limpia

Esta supervisión se realiza en tiempo real y constante y la información es almacenada en una base datos y es recuperable, todo esto con el fin de ofrecerla para futuras revisiones.

Uno de los objetivos principales es la de alertar al personal responsable de mantener en condiciones de operación el cuarto limpio, cuando uno o varios de los parámetros está casi fuera de los rangos validados de operación, así tendrá la oportunidad de actuar con tiempo ante una problemática que se esté generando y afecte el control del área limpia.

Cuando existe una anomalía y uno (o varios) de los parámetros está fuera de su rango de operación el cuarto limpio deja estar en condiciones seguras y existe el riesgo de que el producto dentro del área se contamine. Ya al pasar 30 minutos fuera de control, toda la producción es eliminada porque es considerada ya contaminada, esto causa una gran pérdida monetaria para la empresa, solo porque no se pudo volver a controlar con tiempo las condiciones del cuarto limpio. En este caso el sistema de supervisión ayuda a alerta con anterioridad cuando uno de los parámetros está cerca del límite crítico del rango de operación validado.

El sistema de supervisión tiene como bloque central la plataforma de Arduino, el cual basa su funcionamiento en un chip central conocido como Microcontrolador, en él se descarga un programa que es el que controla y ejecuta las funciones del sistema.

A través del Arduino, manejamos varias interfaces de comunicación que analizan las condiciones del ambiente (en este caso Cuarto Limpio), este se hace por medio de los sensores. Para esto el sistema requiere de 3 sensores principales:

- Sensor de Temperatura y Humedad Relativa (DHT11)

- Sensor de Nivel de Particulado (Sharp Dust Sensor GP2Y1010AU0F)
- Sensor de medición de Presión Diferencial (MPX4250)

Estos sensores tienen su configuración y códigos de programas específicos para interactuar con el Arduino.

Se va a utilizar como medio de presentación e interfaz gráfica, el programa de Labview donde el usuario del sistema lo utilizará para observar lo siguiente:

- Los valores en tiempo real del Set Point los parámetros.
- El rango de operación de los parámetros del cuarto limpio.
- Observará las alertas ya sea: estado operativo (Luz Verde) y estado fuera de control (Luz Roja). Esto apuntando hacia el valor de temperatura, humedad relativa, presión diferencial y nivel particulado.
- Exportará una base de datos a Excel con los valores registrados por el Arduino y sus sensores y cualquier alerta de las mencionadas anteriormente.
- Mostrará una gráfica de los parámetros medidos con respecto al tiempo, para tener una vista rápida de cómo se estuvo comportando los controles del cuarto limpio en los últimos minutos.

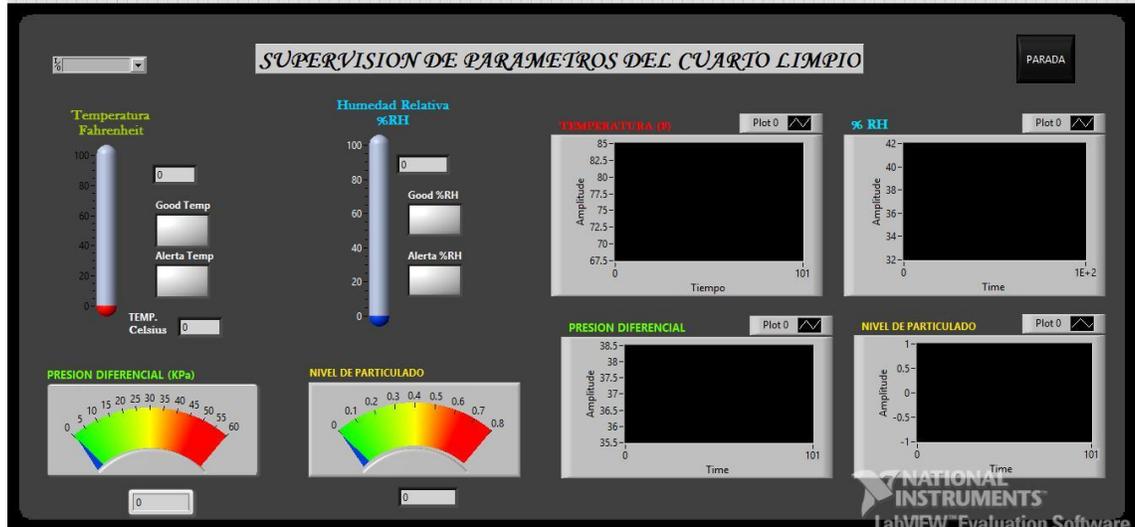


Figura 41: Panel Principal del Sistema

Fuente: Propia

Cada bloque del sistema representa lo siguiente:

- El valor de **Temperatura** en grados Fahrenheit y Celsius.
- El valor de **Humedad Relativa** en (%RH).
- El valor de **Presión Diferencial** en unidades de Kpa.
- El **Nivel de Particulado** en unidades de tamaño de partículas
- Tiene 4 bloques de “Waveform Chart” que representa la medición y el comportamiento de los cuatro parámetros con respecto al tiempo.

3.3.1. PRUEBA DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA:

En primer lugar decidimos realizar las simulaciones del sistema, antes de realizar las conexiones físicas del proyecto y para esto nos auxiliamos de la herramienta de software llamado Proteus con el objetivo de simular las condiciones del cuarto limpio. Esto tomando

en cuenta el uso de los componentes exactos y no otros genéricos, para esto se buscó la librería del: Arduino, el DHT11 y el MPX4250 y se instalaron con el objetivo de realizar la conexión de los sensores hacia el Arduino como lo muestra en la figura 42.

PROTEUS es una herramienta de software que permite la simulación de circuitos electrónicos con microcontroladores. Este software de automatización de diseño electrónico, es desarrollado por *Labcenter Electronics Ltd.*, y consta de los dos programas principales: **Ares e Isis**, y los módulos **VSM y Electra**.

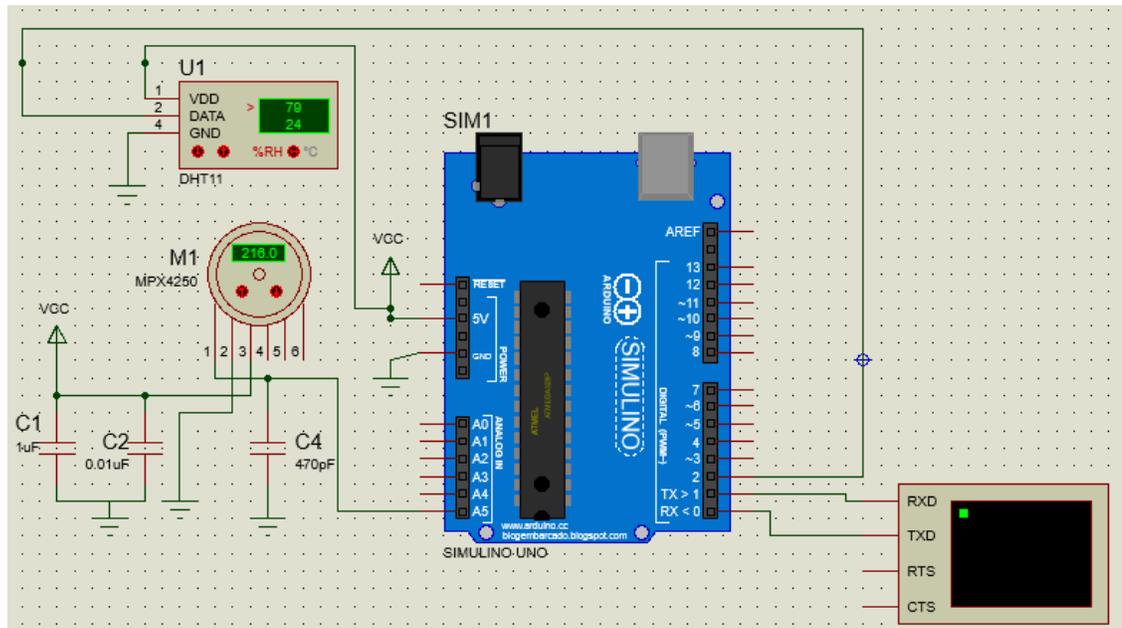


Figura 42: Simulación Sensores/ Arduino en Proteus 8.4
Fuente: Propia

Para nuestro proyecto necesitaremos la herramienta ISIS, cuyas siglas significan, **Intelligent Schematic Input System** (*Sistema de Enrutado de Esquemas Inteligente*) estos nos permite diseñar el plano eléctrico del circuito que se desea realizar, con componentes

muy variados, desde simples resistencias, hasta microprocesador o microcontrolador, incluyendo fuentes de alimentación, generadores de (Optical Dust Sensor - Datasheet) señales y muchos otros componentes con prestaciones diferentes. Los diseños realizados en Isis pueden ser simulados en tiempo real, mediante el módulo VSM, asociado directamente con ISIS.

Como se describió al principio, tuvimos que investigar, descargar e instalar la librería de los componentes que utilizaremos en nuestro proyecto (ARDUINO UNO, sensor humedad y temperatura DHT11 y sensor de Presión MPX4250) para el programa Proteus (porque no lo trae de manera predeterminada) y el objetivo es realizar una simulación lo más real posible, que tome en cuenta el margen de error de los componentes, sus curvas características, sus tolerancias y todo lo intrínseco que lo caracteriza en su hoja de datos, pues utilizando componentes genéricos no vamos a obtener un resultado real ni confiable.

Se instaló la librería de Arduino que nos permite escoger entre diferentes modelos de esta familia, tomamos el Arduino UNO, se caracteriza porque nos permite descargar en el dispositivo el programa compilado en Hexadecimal que son la instrucciones de ejecución del proyecto.

El Arduino ejecuta la compilación de manera real, o sea, ejecutar el programa de la misma manera como se descarga los comandos en una plataforma de Arduino física. Se colocan los sensores DHT11 y sensor MPX4250 con sus respectivas configuraciones de

alimentación y filtrado como lo describe el datasheet, todo esto para que las señales sean estables y las lecturas sean correctas. Por último se conecta una pantalla virtual conectada en los puertos de RX (pin 1) y TX (pin 2) del Arduino para mostramos los resultados de las mediciones. Podemos observar la figura 43, donde se muestra el programa en ejecución indicando los valores medidos en el Virtual Terminal.

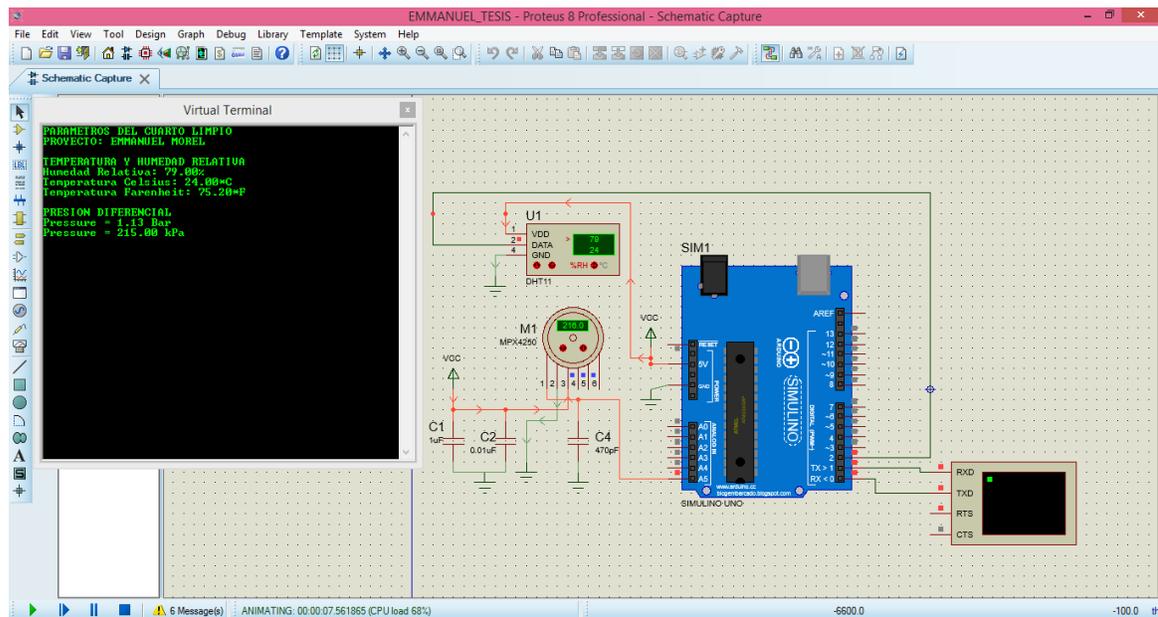


Figura 43: Simulacion Proteus
Fuente: Propia

Al realizar todo este proceso, nos permite verificar que la programación está correcta y bien configurada, si cambiamos algún valor de los parámetros veremos enseguida que el sistema responde a este mostrando los cambios realizado.

Podemos incluso observar en la figura 44 y figura 45, los resultados a través de la pantalla terminal de proteus, la lectura de los sensores conectados al Arduino.

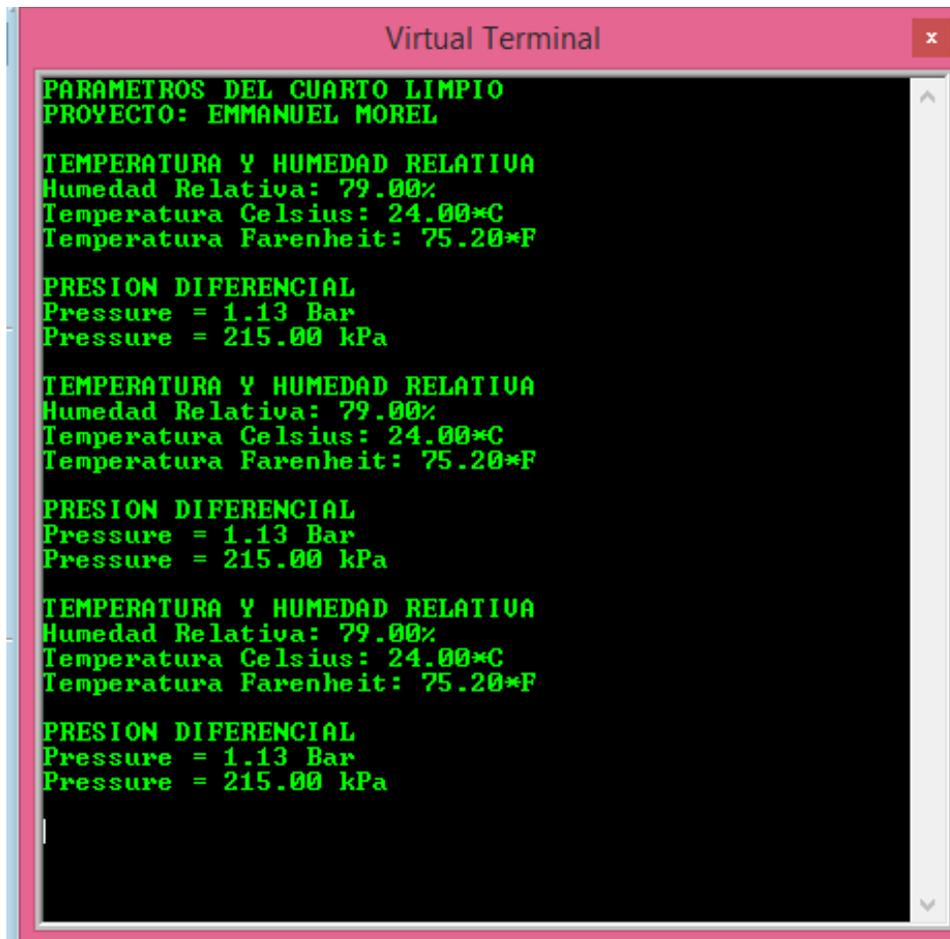


Figura 44: Simulacion Resultado Temperatura y Humedad Relativa y Presion Diferencial
Fuente: Propia.

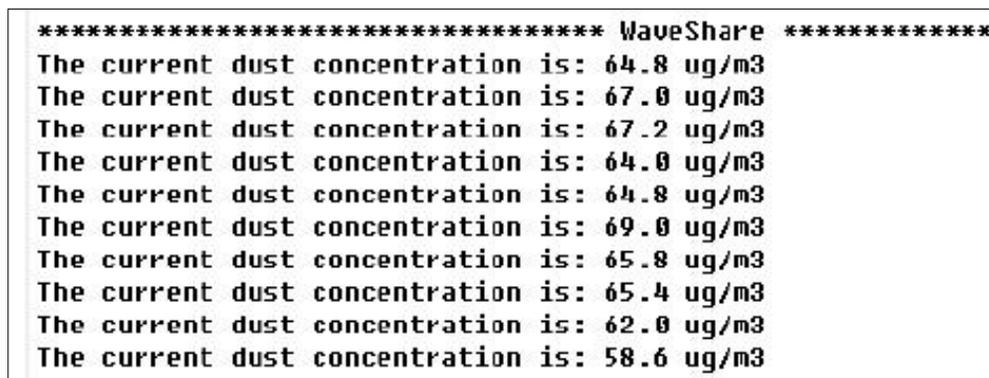


Figura 45: Simulacion Resultado Particulado
Fuente: Propia

| | |
|----|--|
| 1 | Raw Signal Value (0-1023): 192.00 - Voltage: 0.62 - Dust Density [ug/m3]: 5.19 |
| 2 | Raw Signal Value (0-1023): 204.00 - Voltage: 0.66 - Dust Density [ug/m3]: 11.76 |
| 3 | Raw Signal Value (0-1023): 205.00 - Voltage: 0.66 - Dust Density [ug/m3]: 12.31 |
| 4 | Raw Signal Value (0-1023): 640.00 - Voltage: 2.06 - Dust Density [ug/m3]: 250.63 |
| 5 | Raw Signal Value (0-1023): 640.00 - Voltage: 2.06 - Dust Density [ug/m3]: 250.63 |
| 6 | Raw Signal Value (0-1023): 640.00 - Voltage: 2.06 - Dust Density [ug/m3]: 250.63 |
| 7 | Raw Signal Value (0-1023): 639.00 - Voltage: 2.06 - Dust Density [ug/m3]: 250.08 |
| 8 | Raw Signal Value (0-1023): 640.00 - Voltage: 2.06 - Dust Density [ug/m3]: 250.63 |
| 9 | Raw Signal Value (0-1023): 639.00 - Voltage: 2.06 - Dust Density [ug/m3]: 250.08 |
| 10 | Raw Signal Value (0-1023): 640.00 - Voltage: 2.06 - Dust Density [ug/m3]: 250.63 |
| 11 | Raw Signal Value (0-1023): 640.00 - Voltage: 2.06 - Dust Density [ug/m3]: 250.63 |
| 12 | Raw Signal Value (0-1023): 341.00 - Voltage: 1.10 - Dust Density [ug/m3]: 86.82 |
| 13 | Raw Signal Value (0-1023): 640.00 - Voltage: 2.06 - Dust Density [ug/m3]: 250.63 |
| 14 | Raw Signal Value (0-1023): 640.00 - Voltage: 2.06 - Dust Density [ug/m3]: 250.63 |
| 15 | Raw Signal Value (0-1023): 192.00 - Voltage: 0.62 - Dust Density [ug/m3]: 5.19 |
| 16 | Raw Signal Value (0-1023): 245.00 - Voltage: 0.79 - Dust Density [ug/m3]: 34.22 |

Figura 46: Simulación Nivel de Particulado
Fuente: Propia

Para esta prueba se ha creado los códigos del programa en el software de Arduino, los códigos se encuentran copiados en la sección de Anexos de este trabajo.

3.3.2. LABVIEW:

Para el diseño final del proyecto se va a utilizar el software de Labview y como interfaz la plataforma de Arduino, interconectándolos por medio de la comunicación puerto UBS, los sensores se conectarán al Arduino y este a su vez enviará toda la información adquirida hacia el software Labview. Todo esto con el fin crear una plataforma de fácil lectura y análisis inclusive amigable para el personal encargado del sostenimiento del sistema.

LabView es un entorno de desarrollo integrado y diseñado específicamente para ingenieros y científicos que desarrollan sistemas de medidas y control. Posee un lenguaje de programación gráfica nativo, IP integrado para análisis de datos y procesamiento de señales y una arquitectura abierta que permite la integración de cualquier dispositivo de hardware y cualquier enfoque de software.

También nos permite adquirir, procesar y controlar cualquier entorno que haya sido digitalizado por medio de un módulo de adquisición de datos, dichos módulos pueden ser adquiridos en la National Instruments o de otros proveedores los cuales brindan hardware y drivers para la interacción con LabView.

Para nuestro proyecto nos enfocaremos en la librería Arduino instalada en el programa de Labview, para esto se requirió realizar lo siguiente:

1. Instalar el software de Labview (versión 2011 hacia adelante), desde la página de National Instruments.
2. Instalar el paquete de driver de Labview llamado de VISA.
3. Instalar el “Labview interface for Arduino”, que es la librería que utiliza Labview para entender la plataforma de Arduino.
4. Descargar en el Arduino el sketch de nombre LIFA_Base.pde, el cual se encuentra en la ruta de la carpeta de National Instruments, se compila y se

graba utilizando el IDE de Arduino que se puede descargar de la página oficial de Arduino <http://www.arduino.cc>.

Estos son los pasos realizados para tener el software y la plataforma de Arduino configurados mutuamente para su comunicación y funcionamiento.

Una nota muy importante que debemos tener en cuenta es que toda la configuración del programa se va a realizar directamente en el software de Labview, es decir, un diagrama en bloques que realizará toda la secuencia del programa principal, toda esa configuración es similar a la de programar el Arduino sólo que se realizaron los cálculos para convertirlo en un lenguaje entendible por Labview en su mismo software.

La configuración de los sensores se realizará en el Labview, por lo tanto el Arduino está como plataforma para interconectar los dispositivos con el Labview. En el Arduino solamente se descargará el sketch de LIFA_base, que son drivers en Hexadecimal para que el Labview pueda entender todos los medios y dispositivos conectados en los puertos del Arduino.

Además de eso junto al LIFA_base de carga el sketch del sensor de temperatura DHT11 en el Arduino. Observe figura 47, correspondiente a este comentario.



Figura 47

En ese sketch, de los tres sensores a utilizar, solamente se envía junto a los otros predeterminados, la configuración del sensor DHT11 (temperatura y humedad) porque es el que entrega una salida digital y el mismo dispositivo posee su procesamiento de datos, análisis de comunicación y transmisión, microcontrolador y convertor de A/D todo en el mismo chip (estos se detalló en la sección 3.2.3 descripción del DHT11).

Para los otros dos restantes, el MPX4250 (presión) y el SHARP DUST SENSOR GP2Y1010AU0F (particulado), no se necesitó el sketch, pero si se necesita realizar una configuración más robusta y cálculos para convertir su salida analógica en una variable digital y que pueda ser entendida por el Labview y ser representada en unidades correspondiente a la interfaz del usuario.

3.3.3. CONFIGURACIÓN SENSORES HACIA ARDUINO Y LABVIEW:

Para iniciar la comunicación del Arduino en el entorno de Labview se necesita configurar dos bloques importantes, los bloques son llamados **VI**, estos dos son el de inicio (Init) y el de cierre (Close), figura 54 y figura 55 correspondientes.

En la sección del VI de inicio se configuró con Visa Resources: Puerto COM 4, el Baud Rate con: 115200, el Board Type: UNO, Byte per packet: 15, Connection Type: USB/Serial.

En el de cierre se conectó el Arduino Resource para garantiza el cierre del puerto donde se encuentra conectado el Arduino antes de finalizar el programa. *Error in* es una entrada para sincronizar señales de errores desde otras secciones. *Error out* es una salida para sincronizar señales de errores hacia otras secciones.

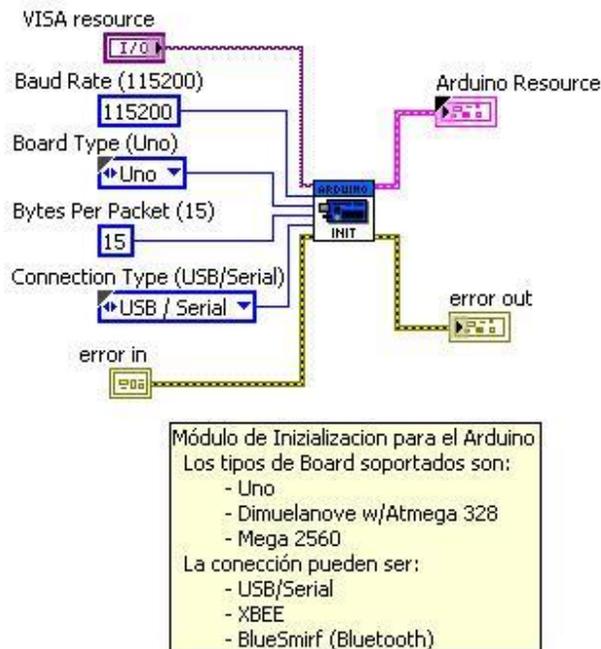


Figura 48:VI de inicio
Fuente: Propia

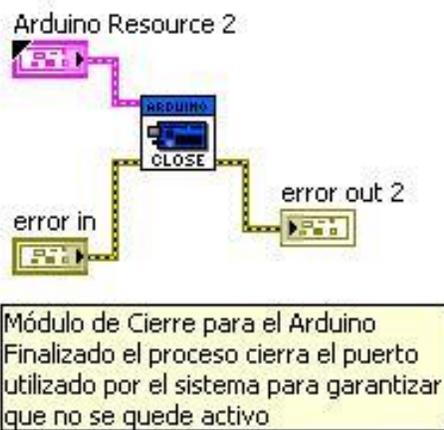


Figura 49:VI de cierre.
Fuente: Propia

Luego de haber configurado estos bloques pasemos a explicar los bloques de los sensores. En la figura 50 se muestra el sistema completo del supervisión:

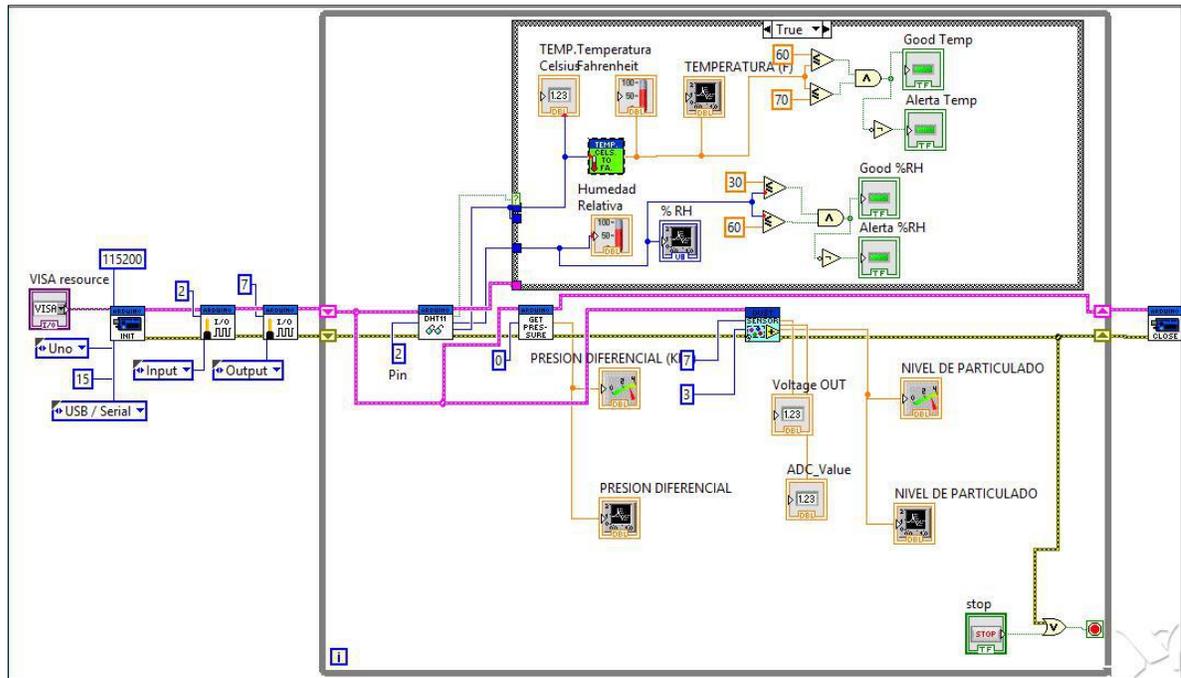


Figura 50: Bloque completo del sistema.
Fuente: Propia

3.3.3.1. Bloque De Temperatura y Humedad Relativa:

La representación de la Temperatura y %RH (Humedad Relativa) realiza a través de los indicadores numéricos en forma de termómetros (Figura 51) y dos indicadores gráficos para mostrar los valores durante un rango de tiempo (Figura 52).

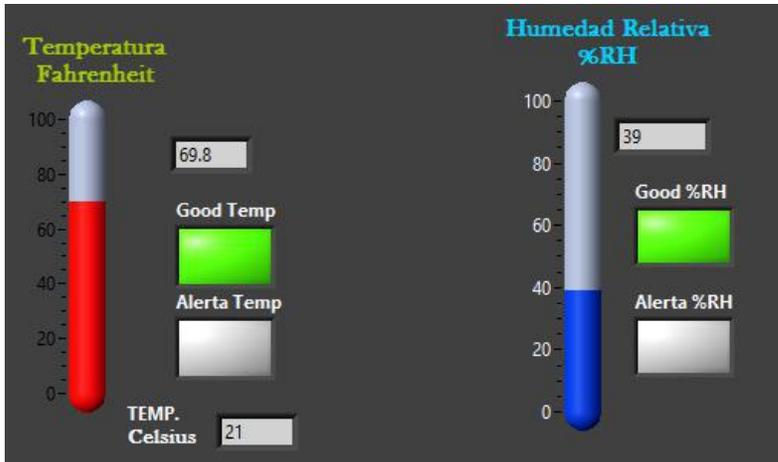


Figura 51:Indicadores Numéricos DHT11.

Fuente: Propia

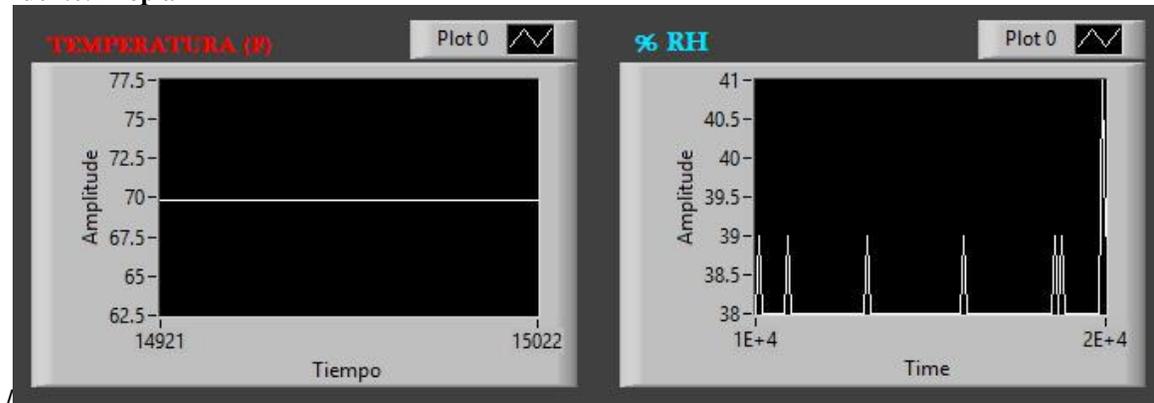


Figura 52:Indicadores Gráficos DHT11.

Fuente: Propia

La unidad de temperatura se utilizará es el Fahrenheit, junto al % de RH. El Vi del sensor DHT11 se muestra en la figura 53, tiene configurado como salida el “pin 2 digital” del Arduino, pero este Vi posee un sistema dentro de su bloque, observe la figura 54.

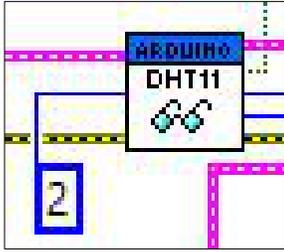


Figura 53:Vi DHT11.
Fuente: Propia

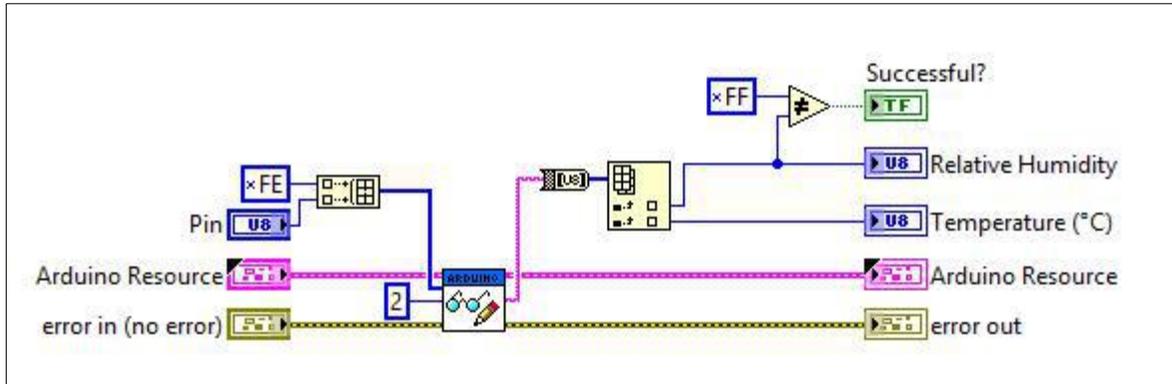


Figura 54: Bloque interno DHT11.
Fuente: Propia

Como el dispositivo entrega una salida digital de sus valores medidos, como resultado tenemos en sus salidas las variables de Humedad Relativa y Temperatura en grados Celsius.

Al igual que en el sketch original de arduino para este dispositivo, se tiene que agregar un Case Structure en Labview, que equivaldría a una comparación “If” en el lenguaje de Arduino, el cual tiene dos condiciones True o False, dependiendo de que el sensor arroje un resultado válido de sensado de sus parámetros. Al ser verdadero se ejecuta todo el proceso que se muestra en la figura 55.

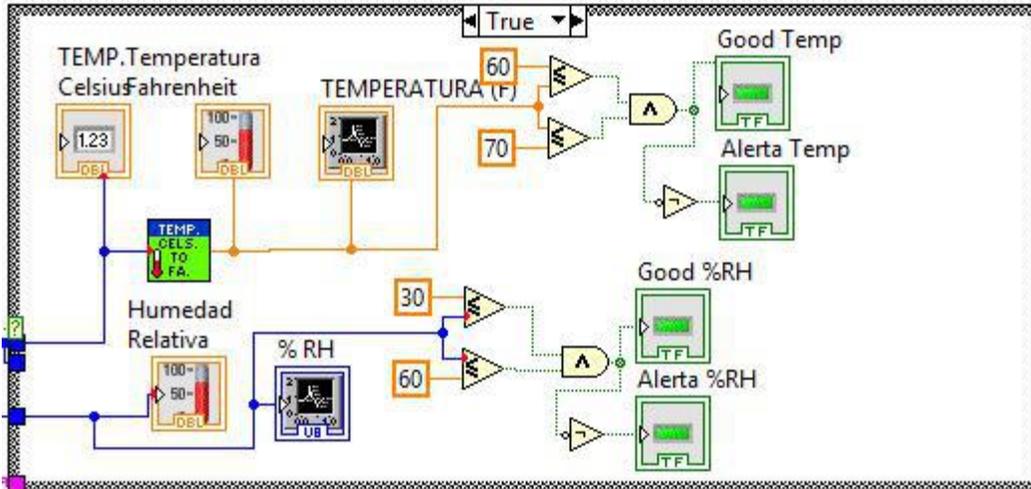


Figura 55: Case Structure del DHT11.

Fuente: Propia

Se colocaron además a cada una de las variables de Temperatura y %RH, dos indicadores de estado: "Good Temp", "Alerta Temp", "Good %RH", "Alerta %RH". Estos están después de dos condiciones booleanas una compuerta AND y NOT en ambos.

Si la variable está dentro del rango especificado, por ejemplo (70 y 60) las dos comparaciones matemáticas (mayor que y menor que) darán como resultado "True" en sus salidas, luego estas están conectadas a la compuerta lógica AND que por regla booleana si ambas entradas son verdaderas su salida es verdadera y se encenderá el indicador de "Good Temp", (Figura 52) lo cual indica al personal responsable que el parámetro está dentro del rango validado. La compuerta NOT es para mantener sólo uno de los dos indicadores encendidos.

Para finalizar con la programación del DHT11, otro de los bloques que se crearon fue el de convertir temperatura Celsius a Fahrenheit, este Vi como se muestra en la figura 56,

fue creado desde cero, no está dentro de la librería de Labview y se basa en la fórmula de conversión $F = (9/5) C + 32$.

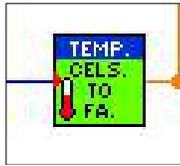


Figura 56: Vi de Conversion de Fahrenheit a Celsius.

Fuente: Propia

Para crear este Vi en Labview se tuvo que abrir un nuevo proyecto con la opción “new Vi” en el menú File del programa. Aquí en esta pantalla se creó el diagrama en bloques que define la ecuación de conversión como se muestra en la figura 57, se colocó las entradas correspondientes y salidas.

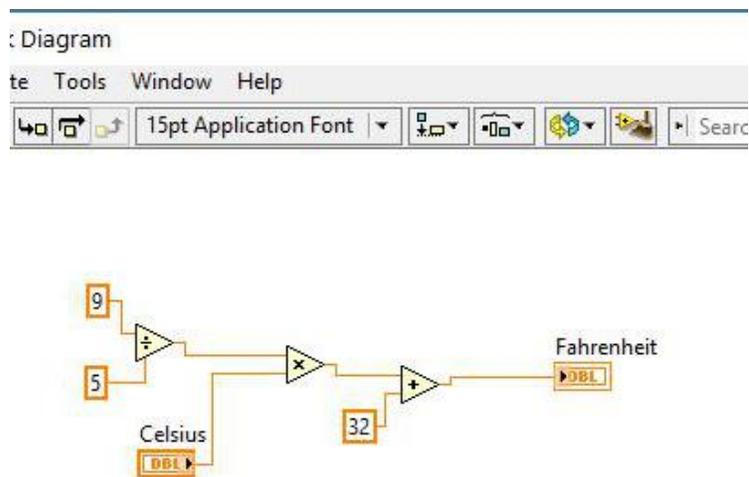


Figura 57: Block Diagram Conversion de Fahrenheit a Celsius.

Fuente: Propia

Se cambió el formato con que se muestra el Vi en el Programa y diagrama en bloques del sistema completo, ver figura 58. Se colocó título que lo identifica, unidades que convierte, etc.



Figura 58: Block Diagram Conversion de Fahrenheit a Celsius.
Fuente: Propia

Se configuró la entrada y salida del bloque, en este caso posee una entrada y una salida. Para esto se abre el menú del icono del Vi, se selecciona el “menú patterns” y se selecciona el tipo de bloque según la cantidad de entrada salida que necesitemos, en este caso la mostrada en la figura 59.

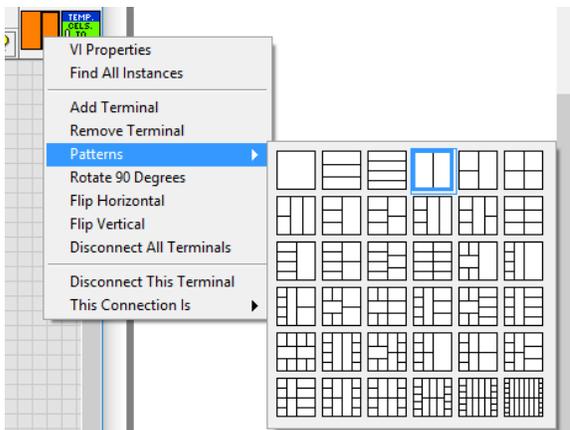


Figura 59: Block Diagram Conversion de Fahrenheit a Celsius.
Fuente: Propia

Con esto se finaliza y se guarda el nuevo Vi creado específicamente para la conversión de la temperatura.

3.3.3.2. Bloque De Presión Diferencial:

La representación de la presión diferencial se realiza a través de estos dos Indicadores mostrados en las figuras 60 y 61. La unidad correspondiente es el Kpa (Kilopascal).

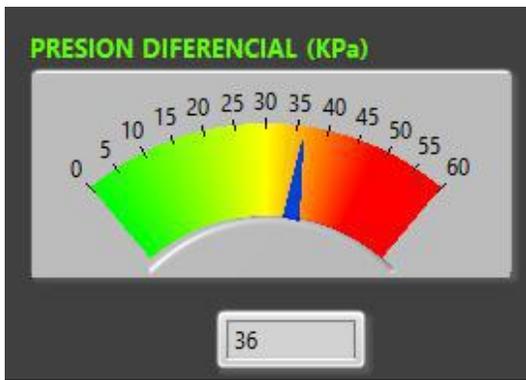


Figura 60: Indicador Numérico Presión.
Fuente: Propia



Figura 61: Indicador Gráfico Presión.
Fuente: Propia

Para determinar el valor de la variable medida por el sensor MPX4250, se tuvo que crear un nuevo Vi, (que el Labview no posee en su librería), nos basamos en el sketch que posee el arduino para configurar este bloque. El Vi correspondiente se llama “MPX Read Pressure”, en la figura 62 se observa el Vi y las conexiones de sus indicadores.

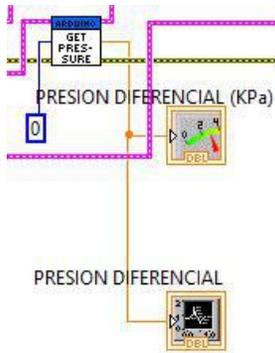


Figura 62: VI Presion.
Fuente: Propia

El sensor MPX4250 nos entrega una salida analogica, cuyo valores estan en el rango desde 0v hasta 5v, debemos de convertir esta variable a un concepto entendible por el usuario. La salida de este sensor esta conectada a la entrada analago pin A0 del arduino (figura 62), dentro del Vi de Presión está el diagrama en bloques del mismo, mostrado en la figura 63.

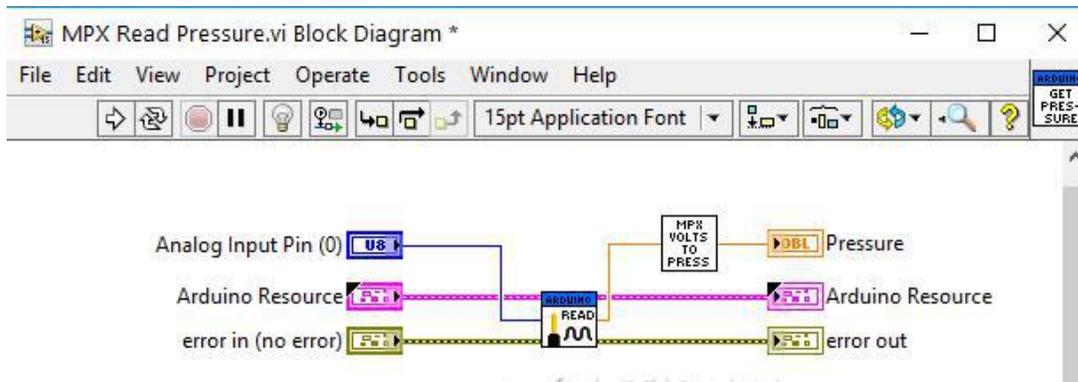


Figura 63: Block Diagram Vi Presion.
Fuente: Propia

Para la lectura de la Presión, nos basamos en el Vi de la librería de Arduino llamado “Analog Read Pin”. Que nos permite tener lectura del sensor, para esto se configura el Vi con las entradas y salidas correspondientes: Arduino Resources, error in, error out, y

Analog Input Pin = 0 (A0 del Arduino). Pero esta señal es necesario mapearla y convertirla en unidad de presión, porque el Arduino nos lo entrega en un rango de 0 – 1024.

Para este caso nos valemos de crear otro Vi llamado “MPX Volts to Pressure”, este vi está conectado a la salida del “Analog Read Pin” y se encarga de convertir el rango entregado por el Arduino al rango de valores de presión en Kpa. Similar a como se realizó con el conversor de temperatura en la sección anterior.

Para establecer esta conversión o Mapeo (llamado en el lenguaje de Arduino) nos basamos en la función de transferencia del dispositivo MPX4250, descrito en el datasheet, es el “Nominal Transfer Value”, el cual es igual a la fórmula mostrada a continuación.

| | |
|--------------------------------|--|
| Nominal Transfer Value: | $V_{OUT} = V_S (P \times 0.004 - 0.04)$ $\pm (\text{Pressure Error} \times \text{Temp. Factor} \times 0.004 \times V_S)$ $V_S = 5.1 \text{ V} \pm 0.25 \text{ V}_{DC}$ |
|--------------------------------|--|

El objetivo es despejar la variable Presión “P” de esta ecuación, para así convertir esta ecuación resultante en un bloque VI entendible por Labview para realizar el mapeo de los valores entregado por el sensor.

Nos ayudamos de método de despeje de ecuación matemático común para obtener nuestra ecuación, los pasos realizados se muestran a continuación:

$$1) V_{out} = V_s (P \times 0.004 - 0.04)$$

Se despeja “P”, para obtener nuestro valor en presión Kpa.

$$2) \frac{V_{out}}{V_s} = P \times 0.004 - 0.04$$

Sustituye; $V_s = 5.1$

$$3) \frac{V_{out}}{5.1} + 0.04 = P \times 0.004$$

$$4) \frac{V_{out} + 0.204}{5.1} = P \times 0.004$$

$$5) \frac{V_{out} + 0.204}{5.1 \times 0.004} = P$$

$$6) \boxed{P = \frac{V_{out} + 0.204}{0.0204}}$$

Ya teniendo la resultante convertimos la ecuación en el Vi llamado “MPX Volts to Pressure”. El bloque quedará como lo muestra la figura 64.

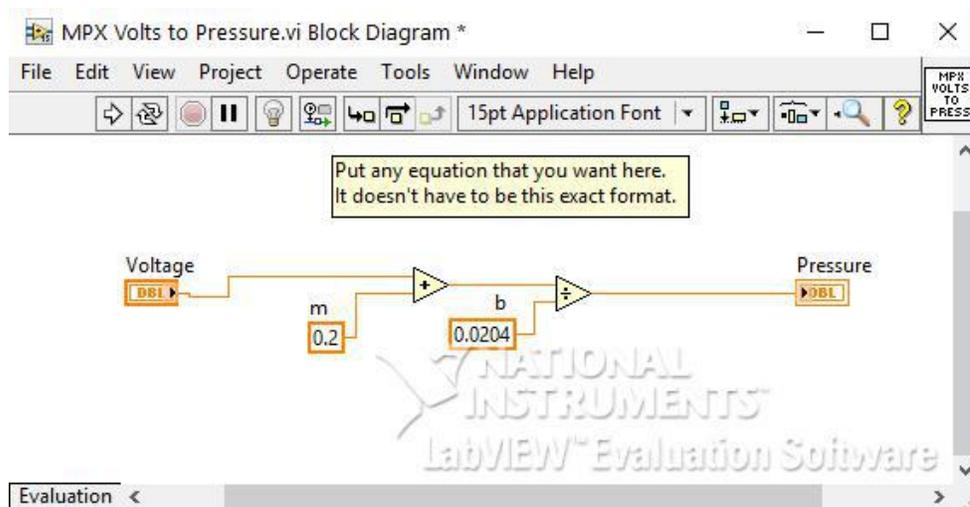


Figura 64: MPX Volts to Pressure.
Fuente: Propia

Entonces según el datasheet en dispositivo maneja un rango desde 0 Kpa hasta 250 Kpa, en lenguaje analógico corresponde que 0V de salida en el sensor representa 0Kpa, mientras que su valor más alto el de 5v representa 255 Kpa ya mapeado aproximadamente. Esta relación se corresponde con la ecuación anteriormente despejada y fue comprobado sustituyendo dichos voltajes.

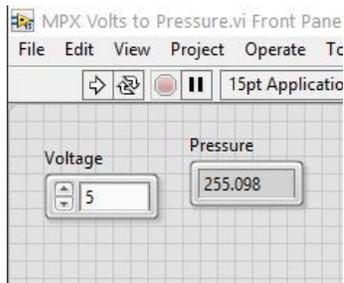


Figura 65: Conversión Voltaje a Presion.
Fuente: Propia

3.3.3.3. Bloque Nivel Particulado Labview:

La parte del sistema que representa el Nivel de Particulado está compuesto por estos dos indicadores, el Indicador Numérico (Figura 66) y el Indicador Gráfico (Figura 67).



Figura 66: Indicador Numérico de Particulado.
Fuente: Propia

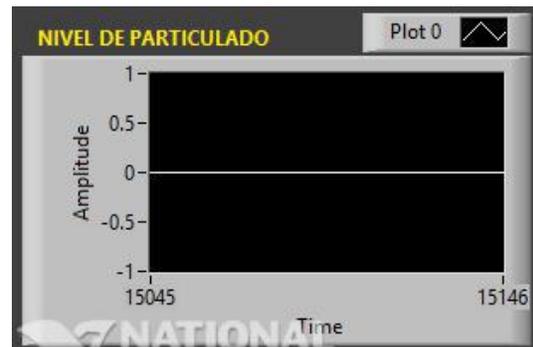


Figura 67: Indicador gráfico de Particulado.
Fuente: Propia

El Vi que corresponde al Nivel de Particulado es el llamado “Particulado Lectura”, este bloque no lo posee la librería de Labview ni la librería de Arduino dentro de este software, por lo que fue necesario la creación de todo el Vi completo desde cero, y basándonos en el sketch que se descarga en el Arduino para la intercomunicación del sensor “Sharp Dust Sensor GP2Y1010AU0F”.

El Vi donde se ejecuta las instrucciones de lectura de Particulado de observa en la figura 68.

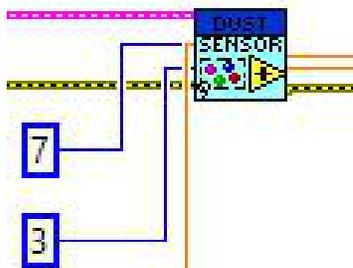
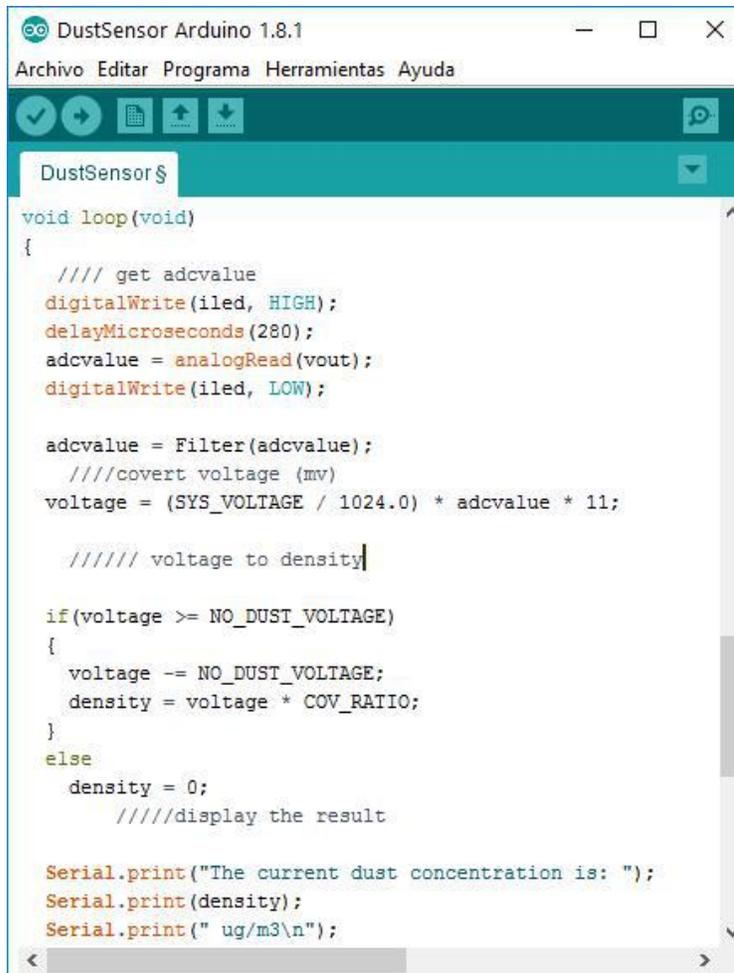


Figura 68: Vi Particulado.
Fuente: Propia

Basándonos en el sketch de la figura 69, se creó el Vi que corresponde al particulado, hay que mencionar que este dispositivo entrega en su salida un voltaje analógico al igual que el sensor MPX4250 de presión, también se tomó en cuenta el mapeo de la variable medida.

El “Sharp Dust Sensor GP2Y1010AU0F” está compuesto por un encapsulado que es como una cámara receptora para analizar la calidad y pureza del aire, para el determinar esta variable utiliza un diodo infrarrojo y un foto receptor, lo cual mientras más alta o

menos sea reflejada sea la luz del diodo hacia el receptor, mayor o menor es la pureza del aire, o sea, si existe muchas partículas de polvo disminuye la luz que ilumina el diodo infrarrojo al receptor óptico y en consecuencia el sensor entregará valores analógicos que representan que el aire está contaminado.



```
void loop(void)
{
  // get adcvalue
  digitalWrite(iled, HIGH);
  delayMicroseconds(280);
  adcvalue = analogRead(vout);
  digitalWrite(iled, LOW);

  adcvalue = Filter(adcvalue);
  //convert voltage (mv)
  voltage = (SYS_VOLTAGE / 1024.0) * adcvalue * 11;

  // voltage to density

  if(voltage >= NO_DUST_VOLTAGE)
  {
    voltage -= NO_DUST_VOLTAGE;
    density = voltage * COV_RATIO;
  }
  else
    density = 0;
    //display the result

  Serial.print("The current dust concentration is: ");
  Serial.print(density);
  Serial.print(" ug/m3\n");
}
```

Figura 69: Scketch Dust Sensor.
Fuente: Propia

Tomando en cuenta esta característica para el proceso de lectura se tiene que activar el diodo (conectado en el pin 7 Digital del Arduino) por un tiempo de 280ms, pasado este

delay se ejecuta la lectura en el pin A3 del Arduino (Puerto Análogo), se adquiere el valor censado, se ejecuta otro delay de 40ms y luego de desactiva el diodo, se realiza el mapeo de la variable a una unidad entendible por el usuario, se representa en los indicadores y se finaliza el proceso.

Para crear el Vi de Particulado en el Labview se tuvo que utilizar los Vi de Arduino: “Digital Write Pin” (activar/desactivar diodo), “Analog Read Pin” (lectura del sensor), de la función Time “Wait (ms)” (para establecer los delays), y para combinar estos Vi se introdujeron dentro del “Flat Sequence Structure” que nos permite ejecutar secuencialmente por medio de subdiagramas, estos bloques. Observe la figura 76.

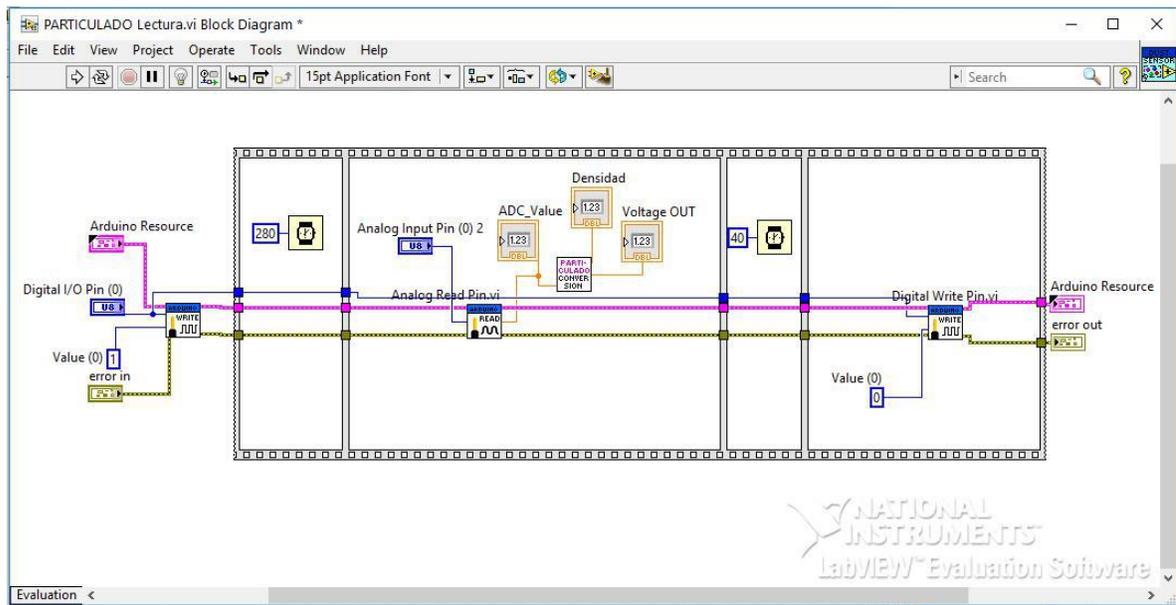


Figura 70: Block Diagram Particulado.

Fuente: Propia

Para el mapeo del resultado obtenido del sensor se realizó lo según explicado por el sketch del fabricante y datos obtenidos del datasheet del sensor, se tiene que cumplir las siguientes ecuaciones y conversiones:

| |
|--|
| /// covert voltage (mv) |
| Voltage = (SYS_VOLTAGE / 1024.0) * adcvalue * 11; |
| ////// voltage to density |
| If (voltage >= NO_DUST_VOLTAGE) |
| { |
| Voltage -= NO_DUST_VOLTAGE; |
| Density = voltage * COV_RATIO; |
| } |
| else |
| density = 0; |
| //////display the result |
| Serial.print("The current dust concentration is: "); |
| Serial.print(density); |
| Serial.print(" ug/m3\n"); |

Las ecuaciones:

$$\text{Voltage} = (\text{SYS_VOLTAGE} / 1024.0) * \text{adcvalue} * 11$$

$$\text{Density} = \text{voltage} * \text{COV_RATIO}.$$

Son la que me definen el mapeo de la variable analógica a un valor de Particulado entendible para el usuario.

Además el sketch de Arduino nos da el valor de estas constantes:

| | | | |
|---------|-----------------|------|---------------|
| #define | COV_RATIO | 0.2 | //ug/mmm / mv |
| #define | NO_DUST_VOLTAGE | 400 | //mv |
| #define | SYS_VOLTAGE | 5000 | |

Sustituyendo en las fórmulas anteriores tenemos:

$$\text{Voltage} = (5000 / 1024.0) * \text{adcvalue} * 11$$

$$\text{Density} = \text{voltage} * 0.2$$

ADCVALUE = es el valor analógico en el pin Aout del sensor, el valor medido.

Density = es el valor mapeado (convertido) a unidades de tamaño de Partícula.

El bloque que representa estas variables y constantes se observan en la figura 77.

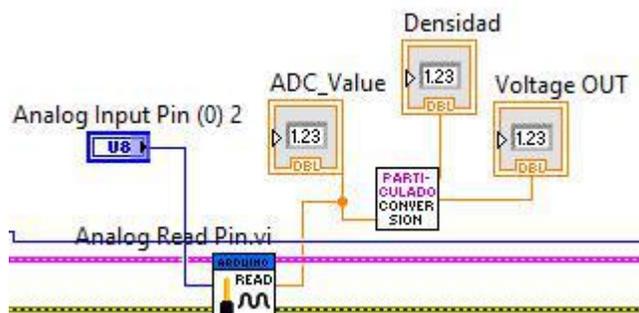


Figura 71: Vi Particulado lectura.
Fuente: Propia

A partir de este análisis ya es posible establecer el diagrama en bloque que corresponde al Vi de conversión dentro del bloque de Particulado. Este Vi se llamará “Particulado Conversion” y se puede observar cómo está conformado en la figura 72.

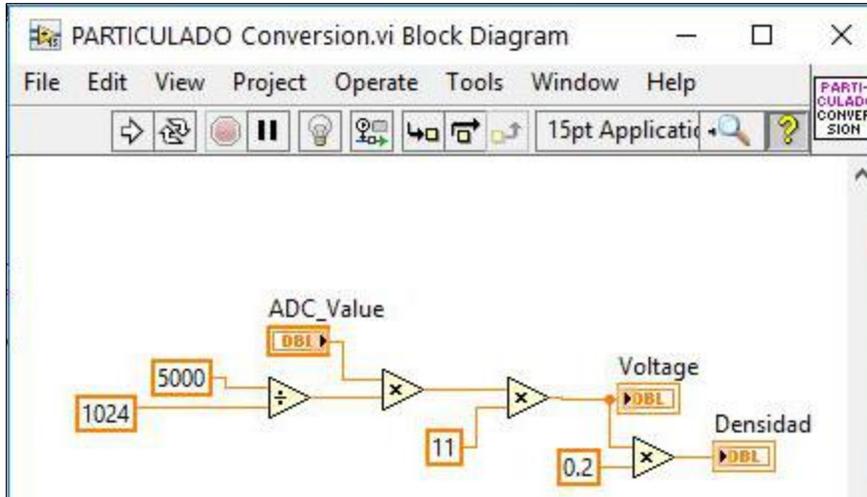


Figura 72: Vi Particulado Conversion.
Fuente: Propia

La salida llamada Densidad es el valor final que es el representado en los indicadores de la pantalla principal del sistema de supervisión.

3.3.4. VALIDACION DE LOS RESULTADOS DEL SISTEMA:

Para comprobar el funcionamiento y a su vez realizar la verificación del sistema de supervisión de parámetros, nos trasladamos al interior de uno de los cuartos limpios que tiene la empresa Hospira, cumpliendo con todos los reglamentos y estándares validados.

Para validar nuestro sistema comparamos los valores medidos por éste, con otros instrumentos calibrados que utilizan los técnicos de Utilidades y técnicos de calibración para realizar el mantenimiento del área y hacer las tareas de calibración programadas.

Para realizar la validación y prueba del sistema, se tuvo que dejar tanto los instrumentos calibrados, los chart Recorder y el proyecto dentro del área limpia censando los valores por alrededor de 30 minutos, este es el tiempo reglamentario para que los dispositivos detecten correctamente los valores de temperatura, %RH, presión diferencia y Particulado. De esta manera se les dará el tiempo promedio a los dispositivos para ajustarse al ambiente y entregar la medida lo más confiable posible.

Los valores entregados por el sistema de supervisión al momento de la prueba dentro del cuarto limpio, fueron los siguientes:

- Temperatura: 69.8° Fahrenheit ($\pm 1^\circ$) y 20° Celsius ($\pm 0.2^\circ$).
- Humedad Relativa: 40% de RH $\pm 1\%$
- Presión diferencial: 36Kpa ± 0.05 Kpa
- Nivel de Particulado: 0.01

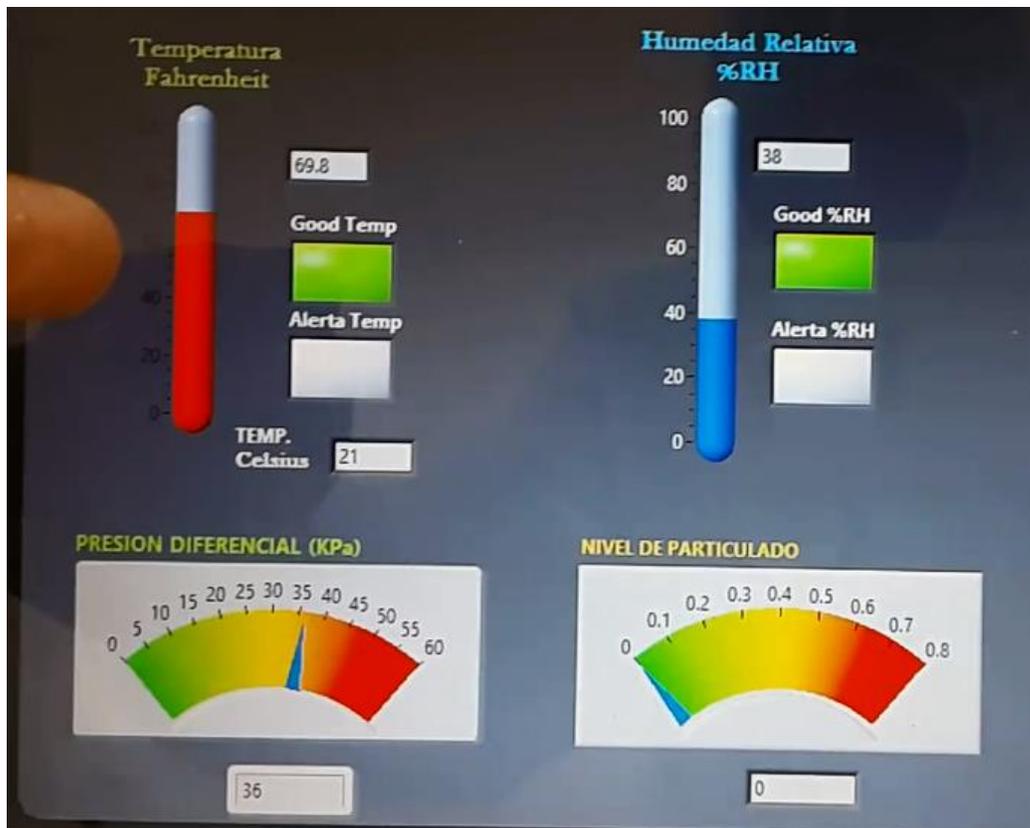


Figura 73: Medición del sistema.
Fuente: Propia

Las mediciones de los equipos calibrados fueron los siguientes:

Extech Instrument RH390: (Figura 74)

- Temperatura: 70.6° Fahrenheit ($\pm 1^\circ$)
- Humedad Relativa: 43.9% de RH ($\pm 0.4\%$)

Vaisala: (Figura 74)

- Temperatura: 18.6° Celsius ($\pm 0.2^\circ$).
- Humedad Relativa: 44.9% de RH ($\pm 0.5\%$)

Chart Recorder: (Figuras 75, 76, 77 y 78)

- Temperatura: 66° Fahrenheit y 19° Celsius
- Humedad Relativa: 44% de RH.



Figura 74: Instrumentos Calibrados.
Fuente: Propia



Figura 75: Chart Recorder 1 Cuarto Limpio.
Fuente: Propia



Figura 76: Chart Recorder 2 Cuarto Limpio.
Fuente: Propia



Figura 77: Chart Recorder 3 Cuarto Limpio.
Fuente: Propia



Figura 78: Chart Recorder 4 Cuarto Limpio.
Fuente: Propia

Cabe decir que los instrumentos calibrados son los utilizados actualmente en la planta para realizar los mantenimientos del sistema y ajustes de calibración.

A partir de los datos recaudados de los instrumentos y del sistema, se observa que la variable temperatura, tanto en Fahrenheit como en Celsius, son muy similares entre los instrumentos, no sobrepasa de tener 2° Fahrenheit de diferencia entre instrumentos, lo que quiere decir que la medida del DHT11 es confiable para esta variable.

El porcentaje de humedad nuestro sistema no de que es de 40% mientras que los otros instrumentos están en el rango de 43% a 44%, aquí tenemos una diferencia de 3% de RH, para calibrar o ajustar el sistema a una lectura más confiable es necesario establecer en este bloque un offset, el cual ayude ajustar el valor medido con el que existe en el cuarto limpio.

La característica de offset es muy utilizada e implementada en los instrumentos de medición calibrados, el técnico de calibración, por ejemplo, re-juega con esta variable para ajustar ya sean sensores, medidores de temperatura, timer, etc., en los equipos a nivel industrial.

Utilizar esta característica ayudará a nivelar la diferencia del parámetro medido en el sistema. Para este ajuste, se puede rediseñar el VI correspondiente y agregarle a su salida un bloque Offset cuyo valor será el de una constantes con el número que es requerido para nivelar el parámetro.

CONCLUSION

El objetivo de este sistema de supervisión de parámetros de cuartos limpios es la de supervisar continuamente el área limpia e independizar al personal encargado de mantener el cuarto limpio, de que esté todo el tiempo custodiando el área y darse el caso que en el momento que no esté presente se salga de control, provocando pérdidas monetarias a la empresa.

Esta meta se ha completado, se tiene un sistema de supervisión basado en el programa de Labview y con interfaz la plataforma de Arduino para conectar los sensores que miden los parámetros. Aunque se tuvo que convertir todo el lenguaje de Arduino al lenguaje y diagrama en bloque que utiliza Labview para entender y comunicarse con los sensores, se obtuvieron los resultados esperados de las mediciones de los parámetros.

Con este sistema se logra optimizar la verificación que realiza el técnico pues le permite estar al tanto de que los parámetros estén dentro de los rangos normalizados y evita que el cuarto se salga de control porque le alertará antes del incidente.

RECOMENDACIONES

El sistema está abierto a mejoras que podrían ser muy potenciales para mejorar el sistema. Entre estas:

- Conectarle un sistema de envío de información por medio de la red y por internet, para agilizar y mejorar la comunicación entre el personal responsable y el sistema. Para esto se recomienda instalar y configurar al Arduino el “Arduino Ethernet Shield” que permite la comunicación y control de manera remota al sistema.
- Otra recomendación es de la convertir en una variable de control, los rangos entre los que se encuentra validados los parámetros, es decir, que sea asequible para el usuario cambiar el rango de donde se mantienen los parámetros del cuarto, creando un bloque adicional en la pantalla principal.
- Es recomendable utilizar dispositivos calibrados y de mejor performance, esto se puede lograr sin realizar grandes cambios al sistema y le entrega mayor confiabilidad y exactitud.

BIBLIOGRAFIA

Aconsulting, D. p. (1 de Octubre de 2009). *Especificaciones Cuartos Limpios y Clases*.

Obtenido de

http://www.dicsaleon.com/PDF/CuartosLimpios/ESPECIFICACIONES_CUARTOS_LIMPIOS_Y_CLASES.pdf

Álvarez, I. J. (5 de Octubre de 2014). *Mundo HVAC*. (R. HVAC, Ed.) Recuperado el

febrero de 2017, de Control de Partículas en Sistemas de Ventilación:

<https://www.mundohvacr.com.mx/mundo/2014/10/control-de-particulas-en-sistemas-de-ventilacion/>

Antony García González. (20 de mayo de 2015). *Panamatike*. Obtenido de ¿Qué es

Arduino y para qué se utiliza?: <http://panamahitek.com/que-es-arduino-y-para-que-se-utiliza/>

Arduino. (2017). Recuperado el 12 de Marzo de 2017, de

<https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>

Arduino. (s.f.). *Arduino Products*. Obtenido de <https://www.arduino.cc/en/Main/Products>

ArduinoDHTics. (s.f.). *Arduino: Tecnología para todos*. Obtenido de <http://arduinoDHTics.weebly.com/iquestqueacute-es.html>

Arquitectos Especializados del Noroeste. (s.f.). *Arquitectos Especializados del Noroeste*. Obtenido de Sobre los tipos y clases de cuartos limpios: <https://aen.mx/sobre-los-tipos-y-clases-de-cuartos-limpios/>

Datasheet DHT11. (s.f.). *How to Hookup DHT22 Temperature Sensor to Arduino Board*. Obtenido de <http://cactus.io/hoodups/sensors/temperature-humidity/dht22/hoodup-arduino-to-dht22-temp-humidity-sensor>

Datasheet MPX4250. (s.f.). *Electronicos Caldas*. Obtenido de <http://www.electronicoscaldas.com/sensores-de-presion/119-sensor-de-presion-mpx4250dp.html>

Hospira, Ltd. (s.f.). Obtenido de "Hospira - Investor Relations - Shareholder FAQ"

Hospira, Ltd. (s.f.). *About Hospira*. Obtenido de https://www.hospira.com/en/about_hospira

HVACR, R. M. (2 de junio de 2009). *Mundo HVACyR*. Obtenido de Cuartos Limpios: <https://www.mundohvacr.com.mx/mundo/2009/06/cuartos-limpios/>

Inversiones Abaco LTDA, P. b.-c. (2011). *ABACO*. (i-cognodifusion, Editor) Obtenido de Cuartos Limpios - Clean Room: http://abaco.com.co/cuartos_limpios.html

Jesus Ruben. (4 de mayo de 2016). *Geekfactory*. Obtenido de Diagrama de pines Arduino (Pinout): <http://www.geekfactory.mx/tutoriales/tutoriales-arduino/diagrama-de-pines-arduino/>

Jose Torres. (17 de marzo de 2014). *Hardware para novatos (VII): Arduino ¿qué es y cómo funciona?* Obtenido de Hipertextual: <https://hipertextual.com/archivo/2014/03/hardware-novatos-arduino/>

Market and Research. (2016). *Clean Room Technology Market: By Application (Pharmaceutical Industry, Biotechnology Industry, Medical Devices Manufacturers, Hospitals); By Standards, By Equipment Type & By Geography - Analysis & Forecast (2016 - 2021)*. Industry Arc.

Maya, F. (7 de abril de 2017). *Recuperación de datos MX*. Obtenido de ¿Qué es un Cuarto Limpio Clase 100?: <https://aen.mx/sobre-los-tipos-y-clases-de-cuartos-limpios/>

(2008). *Metodología para el Diseño de Cuartos Limpios*. Universidad Tecnológica de Pereira.

Mohit Bhalla & Khomba Singh. (16 de diciembre de 2009). *^"US-based Hospira to buy Orchid Chemicals' injectables biz for \$400 mn".* . Obtenido de <http://economictimes.indiatimes.com/news/news-by-industry/healthcare/biotech/pharmaceuticals/us-based-hospira-to-buy-orchid-chemicals-injectables-biz-for-400-mn/articleshow/5342003.cms?intenttarget=no>

Optical Dust Sensor - Datasheet. (s.f.). *Sparkfun Electronics*. Obtenido de Optical Dust Sensor - GP2Y1010AU0F: <https://www.sparkfun.com/products/9689>

RMH, S. d. (2005). *Cuartos Limpios*. Obtenido de RMH: <http://www.rmh.com.mx/>

s.I., s. (2 de 03 de 2007). Obtenido de <http://www.s2c2.co.uk/monitor/tcm39/history.html>

Yahoo Finance. (s.f.). Obtenido de <https://finance.yahoo.com/lookup?s=HSP>

ANEXOS

```
TRABAJO DE GRADO_Supervision Cuartos Limpios - Microsoft Word
Archivo Inicio Inserir Diseño de página Referencias Correspondencia Revisar Vista

LIFA_Base Arduino 1.8.1
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda

LIFA_Base AFMotor.cpp AFMotor.h AccelStepper.cpp AccelStepper.h IRremote.cpp IRremote.h IRremoteInt.h LabVIEWInterface.h LabVIEWInterface.dht11.cpp dht11.h

/*****
**
** LVFA_Firmware - Provides Basic Arduino Sketch For Interfacing With LabVIEW.
**
** Written By: Sam Kristoff - National Instruments
** Written On: November 2010
** Last Updated: Dec 2011 - Kevin Fort - National Instruments
**
** This File May Be Modified And Re-Distributed Freely. Original File Content
** Written By Sam Kristoff And Available At www.ni.com/arduino.
**
*****/

/*****
**
** Includes.
**
*****/

Arduino/Genuino Uno en COM1

Meyers es el mayor productor mundial de medicamentos genéricos,
'ambas de la fabricación de aparatos de cuidados agudos y oncológicos, así como
sistemas avanzados de administración de medicamentos y terapia de aduana. Los

La exigencia en la manufactura de dichos dispositivos ha llevado a la creación
de métodos de productos certificados y en los procesos tecnológicos en cuartos limpios, cabe
mencionar incluso que existe una mayor necesidad de tecnología para asegurar la calidad

near una buena filtración de aire, cabe estar que adicionalmente el proceso de filtración, el
cuarto limpio debe estar completamente estéril del ambiente y sus alrededores.
Generacione Albet LTDA. 2010.

Página: 29 de 138 Palabras: 19,071 Español (alfab. internacional) 50% 16:00 11/04/2017
```

```
Presion_FINAL Arduino 1.8.1
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda

Presion_FINAL

int SensorPort = 5; // Set MPF sensor input on Analog port 5
double SensorValue = 0; // Save Sensor input Voltage
float ResultkPa = 0; // Save Result in kPa
float ResultBar = 0; // Save Result in Bar

void setup()
{
  Serial.begin(9600); // Open serial port
  Serial.println("PARAMETRO DE PRESION DIFERENCIAL");
  Serial.println("E. Morel");
  Serial.println("");
  delay(500);
}

void loop()
{
  SensorValue = analogRead(SensorPort);
  ResultkPa = map(SensorValue,0,1023,20,250);
  ResultBar = (ResultkPa * 0.01) - 1.0172; //multiply (1 kPa x 0.01 bar) and deduct atmospheric pressure
  Serial.print("Pressure = ");
  Serial.print(ResultBar);
  Serial.println(" Bar");
  Serial.print("Pressure = ");
  Serial.print(ResultkPa);
  Serial.println(" kPa");
  Serial.println("");
  delay(750);
}

Arduino/Genuino Uno en COM1

16:01 11/04/2017
```

```

/*****
*****
*
* File      : DustSensor
* Hardware Environment:
* Build Environment : Arduino
* Version   : V1.0.5-r2
* By       : WaveShare
*
*           (c) Copyright 2005-2011, WaveShare
*           http://www.waveshare.net
*           http://www.waveshare.com
*           All Rights Reserved
*
*****
*****/
#define COV_RATIO      0.2      //ug/mmm / mv
#define NO_DUST_VOLTAGE 400     //mv
#define SYS_VOLTAGE   5000

/*
I/O define
*/
const int iled = 7;           //drive the led of sensor
const int vout = 0;         //analog input

/*
variable
*/
float density, voltage;
int  adcvalue;

/*
private function
*/
int Filter(int m)
{
    static int flag_first = 0, _buff[10], sum;
    const int _buff_max = 10;
    int i;

    if(flag_first == 0)
    {

```

```

flag_first = 1;

for(i = 0, sum = 0; i < _buff_max; i++)
{
    _buff[i] = m;
    sum += _buff[i];
}
return m;
}
else
{
    sum -= _buff[0];
    for(i = 0; i < (_buff_max - 1); i++)
    {
        _buff[i] = _buff[i + 1];
    }
    _buff[9] = m;
    sum += _buff[9];

    i = sum / 10.0;
    return i;
}
}

void setup(void)
{
    pinMode(iled, OUTPUT);
    digitalWrite(iled, LOW); //iled default closed

    Serial.begin(9600); //send and receive at 9600 baud
    Serial.print("*****
*****\n");
}

void loop(void)
{
    /*
    get adcvalue
    */
    digitalWrite(iled, HIGH);
    delayMicroseconds(280);
    adcvalue = analogRead(vout);
    digitalWrite(iled, LOW);

```

```
adcvalue = Filter(adcvalue);

/*
covert voltage (mv)
*/
voltage = (SYS_VOLTAGE / 1024.0) * adcvalue * 11;

/*
voltage to density
*/
if(voltage >= NO_DUST_VOLTAGE)
{
    voltage -= NO_DUST_VOLTAGE;

    density = voltage * COV_RATIO;
}
else
    density = 0;

/*
display the result
*/
Serial.print("The current dust concentration is: ");
Serial.print(density);
Serial.print(" ug/m3\n");

delay(1000);
```