ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL CONTROL DE UN TÚNEL DE DILUCIÓN CON INTERFAZ A UN COMPUTADOR

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y CONTROL

CHRISTIAN JAVIER ACOSTA RUALES
javi2kacosta@yahoo.com.mx

DIRECTOR: ING. ANA RODAS B.
ana.rodas@epn.edu.ec

Quito, julio 2011

DECLARACIÓN

Yo Christian Javier Acosta Ruales, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

_____

Christian Javier Acosta Ruales

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Christian Javier Acosta Ruales, bajo mi supervisión.

_____

Ing. Ana Rodas B.

DIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTO

A Dios que me ha permitido llegar a culminar esta meta tan importante en mi vida.

A mi Directora del Proyecto de Titulación la Ing. Ana Rodas por la dirección, ayuda, consejos brindados en cada paso del desarrollo y culminación del presente trabajo.

A quienes forman parte de CORPAIRE, por su apoyo incondicional, buena voluntad en las actividades y permitir la ejecución de este proyecto, en especial al ingeniero Alex Guzmán.

A mis profesores por la formación académica brindada, ya que con el desarrollo y aplicación de éstos conocimientos pude desarrollar satisfactoriamente éste proyecto y terminar exitosamente la carrera de pregrado.

A mis compañeros y amigos con quienes compartí los años de estudio, que con su amistad, apoyo y espíritu de grupo resolvimos los problemas que se nos presentaron.

Javier Acosta

DEDICATORIA

El desarrollo de esta Tesis se lo dedico a mis padres Galo y Elsa por brindarme su amor, dedicación, comprensión, apoyo y sabios consejos para que llegue a la culminación de mi carrera.

A mis hermanos Darwin y Franklin que siempre estuvieron junto a mí y de una u otra forma me apoyaron.

Esta dedicatoria es también para la persona que con paciencia y voz de aliento me ha ayudado a superarme en momentos difíciles de mi vida estudiantil.

Javier Acosta

CONTENIDO

DECLARACIÓN I
CERTIFICACIÓN II
AGRADECIMIENTO III
DEDICATORIA IV
CONTENIDO V
RESUMEN VIII
PRESENTACIÓN X
1. CAPÍTULO 1. 1
1.1. Introducción 1
1.2. Fuentes contaminantes del aire 2
1.2.1. Fuentes naturales: 3
1.2.2. Fuentes antropogénicas: 4
1.3. Motor diesel 8
1.3.1. Ciclo del motor diesel. 10
1.4. Principales emisiones diesel y sus efectos 12
1.4.1. Óxidos de azufre 13
1.4.2. Monóxido de carbono co 14
1.4.3. Óxidos de nitrógeno 15
1.4.4. Compuestos orgánicos volátiles (voc´s) 15
1.4.5. Hidrocarburos 16
1.4.6. El ozono (o3) 17
1.4.7. El material particulado (mp) 17
1.5. Medición de contaminantes de gases de escape. 23
1.6. Sistemas de dilución 26
1.6.1. Dilusor de flujo total 27
1.6.2. Dilusor con eyector 28
1.6.3. Mini - micro túnel. 29
1.6.4. Dilusor de disco rotatorio 30

2. CAPÍTULO 2 35
2.1. Descripción general del sistema 35
2.2. Sensores 36
2.2.1. Temperatura 36
2.2.2. Presión 38
2.2.3. Velocidad 40
2.3. Actuadores 42
2.3.1. Calentador tubular en linea para aire 42
2.3.2. Bomba peristaltica. 43
2.3.3. Motor de pasos. 46
2.4. Controladores 48
2.4.1. Control de temperatura. 48
2.4.2. Control de velocidad del motor a pasos. 49
2.5. Hardware del computador. 52
2.6. Tarjetas de adquisición de datos de labview. 53
2.6.1. Tarjeta de adquisición de datos ni usb-6008. 53
2.6.2. Tarjeta de adquisición de datos ni 9211. 55
2.7. Fuente de alimentacion 56
2.8. Diagrama de control del proceso 560
3. CAPÍTULO 3 62
3.1. Configuración de las daq's 62
3.2. Panel frontal. 63
3.3. Diagrama de bloques. 65
3.3.1. Medición de velocidad del motor a pasos 65
3.3.2. Medición de temperatura y presión. 67
3.3.3. Almacenamiento de datos 68
3.3.4. Control de velocidad 69
3.3.5. Control de la bomba peristaltica 70
3.3.6. Parte gráfica 70
3.4. Icono y conector 71
3.5. Programa en el microcontrolador pic 16f873a 72

3.6. Instalación y operación 75
3.6.1. Instalación 75
3.6.2. Operación 75
4. CAPÍTULO 4 81
4.1. Pruebas con el control de temperatura 81
4.2. Pruebas con la estabilización de velocidad del tunel 83
4.3. Pruebas con control de la bomba peristáltica 85
4.4. Pruebas con la interfaz 87
4.5. Pruebas de todo el sistema 87
5. CAPÍTULO 5 92
5.1. Conclusiones 92
5.2. Recomendaciones 94
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 95
ANEXOS: 99

RESUMEN

Las emisiones generadas por fuentes móviles impulsadas por derivados de gasolina o diesel contienen compuestos como monóxido de carbono (CO), anhídrido sulfuroso (SO_2), monóxido de nitrógeno (NO), dióxido de azufre (SO_2), material particulado (MP) y otros contaminantes, los cuales son perjudiciales para la salud del ser humano.

Por esta razón es necesario el estudio de nuevas tecnologías que permitan la reducción de contaminantes en las emisiones generadas por vehículos. Con este fin se realiza el monitoreo y control de las emisiones vehiculares, con la ayuda de equipos de análisis y medición de gases que necesitan diluir la muestra para lo cual se utiliza un túnel de dilución.

El túnel de dilución hace compatible la concentración de la muestra con el rango de medida del equipo, previene la condensación de los componentes de los gases de escape y disminuye el proceso de coagulación de partículas.

La unidad de dilución de este proyecto es un túnel de dilución de disco rotatorio; en este sistema la dilución de los gases de escape en aire se produce mediante el llenado y vaciado de los alojamientos del disco rotatorio mediante el fenómeno físico denominado Transporte de Masa por Convección - Difusión.

Para poder realizar la dilución se debe controlar la frecuencia de giro del disco rotativo, lográndolo con un motor de pasos con el cual se obtuvo un rango de 5 a 70 RPM. También es necesario mantener el flujo constante en la muestra de gases de escape, para esto se utilizó una bomba peristáltica que tiene incorporado un control de velocidad permitiéndonos a mas de mantener el flujo constante variar el flujo. Otro parámetro a controlar es la temperatura del aire filtrado para dilución a una

temperatura de 150 ℃, se resolvió colocando un calentador tubular en línea controlado por un control de temperatura, de esta manera podemos mantener la temperatura no solo a 150ºC sino a un rango comprendido desde la temperatura ambiente hasta unos 350ºC. En este proceso es necesario medir la presión en el ingreso de la muestra y en el ingreso del aire de dilución, medir la temperatura tanto en el ingreso de los gases de escape, el ingreso del aire de dilución y en la salida diluida, controlar y visualizar el funcionamiento del túnel de dilución desde un computador, para esto se realizó la interfaz en el programa LabVIEW y se usaron dos tarjetas de adquisición de datos para obtener los datos de temperatura, presión, velocidad del túnel de dilución y almacenar estos datos en un archivo plano.

En base a los resultados obtenidos de las pruebas realizadas se pudo comprobar que el equipo realiza satisfactoriamente la dilución de los gases de escape con un error promedio de 0,33 RPM para el control de velocidad y un error promedio de 0,55 ºC en el control de temperatura.

Este proyecto es parte de una investigación que desarrolla la Corporación Municipal para el Mejoramiento del Aire de Quito (CORPAIRE) para mejorar la calidad de vida de las personas en el Distrito Metropolitano de Quito. Es auspiciado y financiado en su totalidad por la CORPAIRE.

PRESENTACIÓN

Hasta hace algún tiempo, las partículas emitidas por los motores a diesel al medio ambiente no eran consideradas de gran importancia; actualmente, debido a su reducido tamaño y su composición, que en gran medida representan un factor de toxicidad por estar constituidas principalmente de Hidrocarburos Policíclicos Aromáticos (HAPs) y Material Particulado, se ha concluido que constituyen compuestos perjudiciales para la salud de los seres humanos pudiendo llegar a producir hasta cáncer.

La ubicación de la ciudad de Quito respecto al nivel del mar es uno de los principales factores para el aumento de la contaminación, debido a la reducción del oxigeno, lo que provoca una disminución en la eficiencia de la combustión. Por esta razón es necesario el estudio de nuevas tecnologías para el monitoreo y control de las emisiones vehiculares; esto se realiza con la ayuda de equipos de análisis y medición de gases, algunos de los cuales necesitan de un túnel de dilución que diluya los gases de escape antes de la medición de emisiones vehiculares.

En el Capítulo Uno, se realiza una descripción general de las fuentes contaminantes del aire. Se explica cómo contribuyen a la contaminación los motores diesel, los contaminantes que generan con sus efectos para el ser humano. Finalmente se detalla que son, para que sirven, tipos de sistemas de dilución existentes y los requerimientos de nuestro sistema.

En el Capítulo Dos, se realiza un estudio de los diferentes equipos e instrumentación existentes y utilizados en el proceso, los mismos que permiten el correcto funcionamiento del sistema.

En el Capítulo Tres, se explican y desarrollan las diferentes partes que conforman la HMI realizado en LabVIEW que controla el sistema de dilución y el programa en el

microcontrolador PIC que genera los pulsos de excitación para las bobinas del motor a pasos

En el Capítulo Cuatro, se describen las pruebas realizadas al sistema, con el fin de comprobar su correcto funcionamiento.

En el Capítulo Quinto, se encuentran las conclusiones derivadas de la ejecución exitosa del proyecto, además de las recomendaciones.

1. CAPÍTULO 1.

CONTAMINACIÓN DEL AIRE

1.1. INTRODUCCIÓN

El aire es una mezcla gaseosa compuesta por 21% de oxígeno, un 78% de nitrógeno y un 1% de varios compuestos como: argón, ácido carbónico y vapor de agua.

La Contaminación del aire se la puede definir como la presencia de materiales indeseables en el aire en cantidades que pueden ser capaces de producir efectos nocivos para la salud, el bienestar de la población, o que puedan ser perjudiciales para los seres vivos.

La contaminación es uno de los problemas ambientales más importantes que afectan al mundo y la principal fuente es producida por el hombre al tratar de cubrir sus necesidades, modificando y deteriorando el ambiente que lo rodea, sin medir las consecuencias**.**

A los contaminantes se los puede dividir en primarios, aquellos emitidos directamente por las diversas fuentes, y en contaminantes secundarios a los que son formados a partir de la interacción fotoquímica de los contaminantes primarios en la atmósfera.

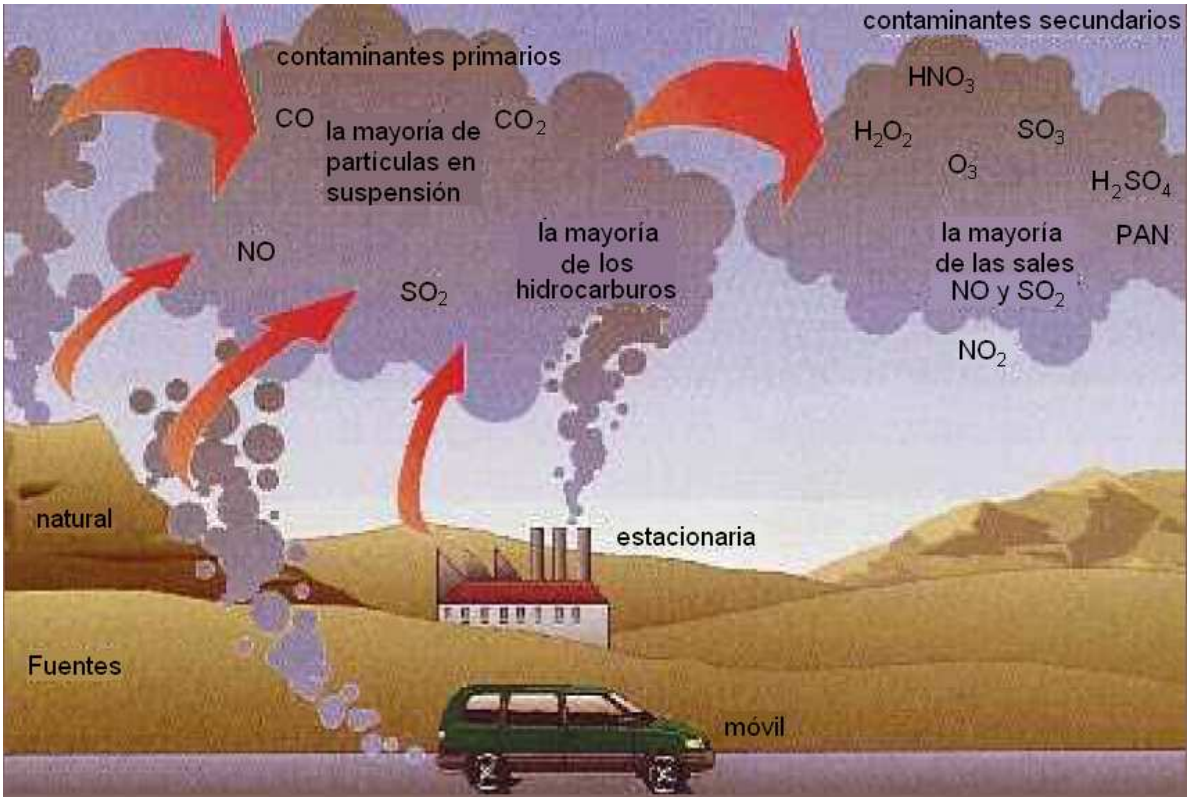


Figura 1.1: Gases contaminantes presentes en la atmosfera [1].

1.2. FUENTES CONTAMINANTES DEL AIRE

La contaminación puede deberse a ciertos fenómenos de la naturaleza (fuentes de emisión naturales) o debido a los diferentes procesos productivos del hombre (fuentes de emisión antropogénicas).

La fuente de emisión es el origen físico o geográfico donde se produce una liberación contaminante al ambiente.

[1] Antecedentes de los Principales Contaminantes Atmosféricos, http://200.68.10.178/chile/docs/protocolos/ANEXOS%20C%20(0.1%20MB).pdf

La contaminación de la atmósfera va íntimamente ligada a los procesos y fenómenos que en ella tienen lugar: condiciones estacionales, geológicas y meteorológicas como son las corrientes de aire (vientos) que pueden aumentar o disminuir la concentración de los contaminantes, así como también la temperatura, presión atmosférica y el tipo de vegetación.

1.2.1. FUENTES NATURALES:

Las fuentes naturales son producidas por volcanes, incendios forestales, descomposición de materia orgánica, entre otras. A continuación se describen algunas de las principales fuentes naturales capaces de producir contaminación atmosférica:

- ***Volcanes:*** Las erupciones volcánicas presentan una fuente natural concentrada y localizada de todo tipo de gases y partículas. Son la fuente de contaminación natural más importante en muchas ciudades. Los principales contaminantes emitidos son el dióxido de azufre y el material particulado. La energía de las erupciones en muchos casos es suficiente para forzar el paso de gases y partículas pequeñas hacia la estratosfera, donde los procesos de eliminación son muy lentos, en consecuencia, permanecen suspendidos en la atmosfera por largos periodos.

- ***Brumas:*** Proveniente de lagos, mares, ríos, y causan problemas de visibilidad; las que provienen de los volcanes son muy ácidas, las marinas tienen un alto contenido salino lo que las mantiene estables.

- ***Incendios de origen natural:*** Producidos por caída de relámpagos o calentamiento de materiales inflamables, pueden ocasionar devastación en grandes áreas, así como altas concentraciones de monóxido de carbono y material particulado.

- ***Seres vivos:*** Estas son producidas por la actividad y la presencia de los seres vivos, sean éstos animales, plantas, el ser humano. El hombre emite 10 m^3/día de aire con un 4 % de CO_2, los animales lo hacen en concentraciones parecidas.

  Los hongos, musgos y líquenes emiten esporas o células capaces de producir nuevas plantas. Las esporas pueden alcanzar los 1600 m de altitud, mientras el polen alcanza hasta 1500 m.

.

  La fermentación y putrefacción de materia orgánica producida por la acción microbiana genera nitrógeno, metano, dióxido de carbono, carbonatos, amoniaco, etc.

1.2.2. FUENTES ANTROPOGÉNICAS:

Son generadas por las diversas actividades del hombre, como procesos industriales, motores de combustión de automóviles, mecanismos de calefacción, etc.

Las fuentes antropogénicas se clasifican en:

- **Fuentes móviles:** Se denominan fuentes móviles de contaminación, aquellos procesos emisores que se desplazan y no permanecen en un mismo punto. La contaminación producida por estas fuentes dependerá de las horas que permanezcan encendidas. Estas fuentes están mayormente relacionadas con la transportación, como son: vehículos de motor, aeroplanos, barcos, etc.

- **Fuentes estacionarias o fijas**: Se consideran como fuentes fijas a todas aquellas que no cambian su ubicación, en su mayoría provienen de actividades industriales o agrícolas. Algunos ejemplos son: plantas de

producción de energía eléctrica, industrias en general, calentadores, incineradores y calderas, quema de desperdicios a campo abierto, actividades de construcción de edificios y carreteras, actividades mineras, etc.

Algunas de las principales fuentes antropogénicas capaces de producir contaminación son:

- ***Procesos de combustión externa***: La ignición de combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas natural) es la fuente de contaminación del aire más común que proviene de la industria. Los combustibles se queman ya sea en forma directa en el sitio para producir calor o vapor, o cerca del suministro de combustible para producir la electricidad que se utiliza en la industria

  Los calderos que funcionan con petróleo producen menor cantidad de ceniza que los que funcionan con carbón; pero las calderas que trabajan con petróleo por lo general utilizan combustible pesado con un contenido alto de azufre (0,5% al 2,2%), por lo que hay dióxido de azufre en los gases generados.

- ***Incineración de desechos:*** El problema de los desechos o residuos sólidos no es sólo su recolección o disposición, sino su procesamiento. En el caso de los desechos urbanos e industriales se persigue un doble objetivo: la eliminación de estos productos o materiales indeseados y la obtención de energía, bien sea en forma de vapor o eléctrica. Los principales productos emitidos en estos incineradores son: material particulado, óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno, etc.; en cantidades variables, dependiendo de la naturaleza de los materiales incinerados y del combustible utilizado.

- ***Industrias:*** Las fuentes industriales de contaminación del aire son las más notorias porque en general las emisiones se descargan por una sola chimenea. La participación del sector industrial en el grado de contaminación es muy variable y está en función de los procesos industriales que se utilizan, de las características de cada ciudad y en general, de la zona en la cual está asentada.

  Entre las industrias o actividades cuyos procesos afectan la calidad del aire se tiene fabricas de fertilizantes y explosivos las cuales contaminan principalmente con óxidos de nitrógeno (NO_X); los procesos que trabajan con combustibles sean éstos de petróleo o carbón contaminan con óxidos de azufre (SO_X); en la fabricación de papel, plantas de limpieza, procesamiento de gas natural, ciertas plantas de fabricación de fibras sintéticas contaminan con sulfuro de hidrógeno (H_2S) el cual se oxida en pocas horas y forma SO_2 y H_2O; las fabricas de plásticos, instalaciones de manufactura o procesamiento de caucho y materiales sintéticos producen contaminación con compuestos orgánicos volátiles como son hidrocarburos, aldehídos, alcoholes; otras industrias con importante contaminación de material particulado son las fabricas de cemento.

- ***Transporte:*** La transportación genera alrededor de un tercio de las emisiones totales de compuestos orgánicos volátiles, óxidos de nitrógeno y plomo, y más de dos tercios del monóxido de carbono.

  Al producirse la combustión el hidrógeno y el carbono del combustible se combinan con el oxígeno del aire para producir calor, luz, dióxido de azufre y vapor de agua, mientras los productos secundarios como monóxido de carbono, óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno, cenizas finas e hidrocarburos no quemados que son contaminantes del aire, son producidos por las impurezas del combustible, una incorrecta relación

entre el combustible y el aire, o temperaturas de combustión demasiado altas o demasiado bajas.

Las proporciones en que estos contaminantes son emitidos dependen de diversos factores entre ellos el tipo de motor y combustible que los vehículos utilicen. En resumen puede establecerse lo siguiente:

- Los ferrocarriles y trenes utilizan motores que consumen hidrocarburos, generalmente tienen motores a diesel. Las emisiones se efectúan en las estaciones donde se concentran y en su recorrido.

- Los aviones consumen combustibles de alta calidad, derivados del petróleo. Los contaminantes que emiten son: aldehídos, CO, NO_X, partículas, tolueno, benceno y xilenos.

- Los barcos utilizan hidrocarburos derivados del petróleo como fuente de energía, por lo que emiten: CO, hidrocarburos no combustionados, NO_X, PM, SO_2, aldehídos, CO_2, hidrógeno, cloro, que en general son los contaminantes que emiten todos los vehículos.

- Los vehículos que utilizan gasolina producen CO, HC, NO_X, partículas, mientras que los motores a diesel emiten mayores cantidades de humo, carbón, olores, aldehídos, hidrocarburos no combustionados, partículas y dióxido de azufre.

1.3. MOTOR DIESEL

Los motores diesel son motores térmicos, de encendido por compresión y de combustión interna, que convierten la energía calórica del combustible en energía mecánica o movimiento, aprovechando la fuerza expansiva de los gases inflamados en el interior de los cilindros, que es recogida por el árbol del motor, cuyo giro es transmitido a las ruedas que dan impulso al vehículo[2].

El motor diesel no tiene bujías, toma el aire y lo comprime, después inyecta el combustible directamente en la cámara de combustión (inyección directa), y el calor del aire comprimido enciende el combustible en el motor.

El combustible diesel es más pesado, aceitoso, no se evapora tan rápido como la gasolina, el tiempo de refinación de este combustible es menor, por esta razón es más barato que la gasolina, y tiene una densidad de energía más alta que la gasolina. Un galón de combustible diesel contiene aproximadamente $147x10^6$ joules, mientras que un galón de gasolina contiene $125x10^6$ joules. Combinado con la mejor eficiencia de los motores diesel, se puede explicar porqué los motores diesel proporcionan mayor kilometraje que el motor de gasolina.

[2] Ralbousky E.; Motores Diesel; Editorial Paraninfo; Madrid España; 2000.

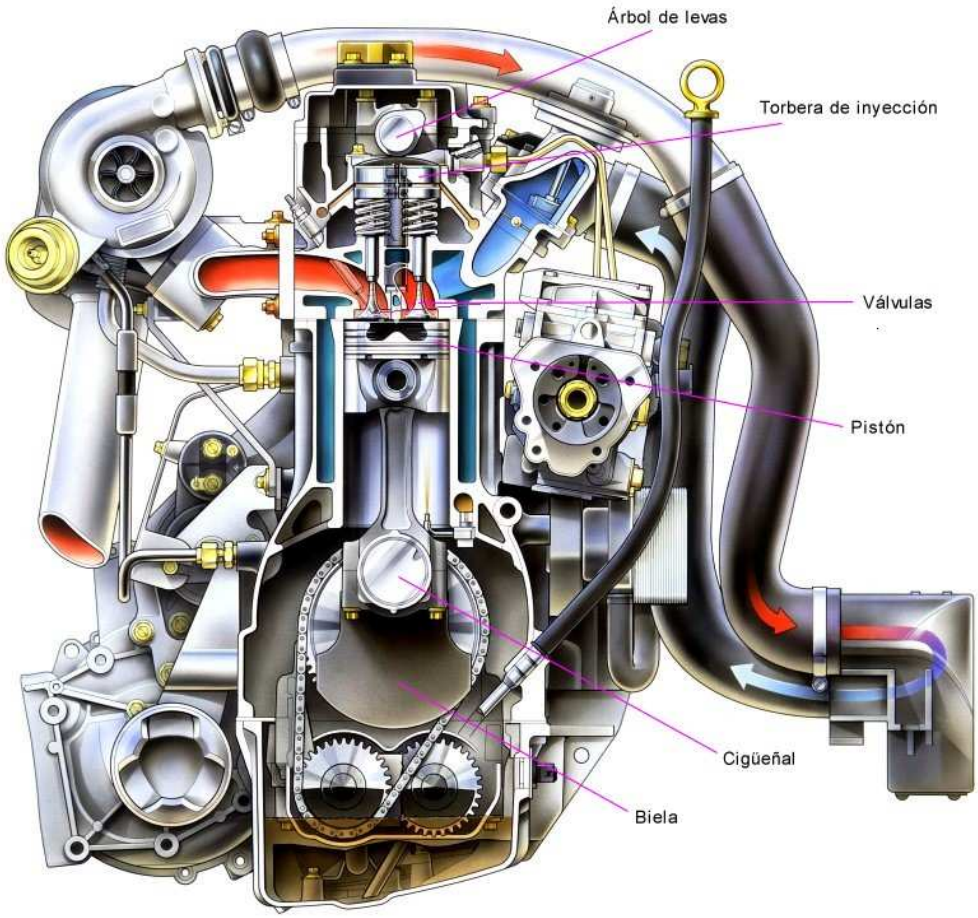


Figura 1.2: Partes principales del motor diesel [3].

Los motores diesel emiten menor cantidad de gases, debido a que puede admitir una gran cantidad de aire y funcionar con mezclas muy ricas quemando el combustible de forma más completa, además produce menos óxidos de nitrógeno NO_X; ya que este compuesto se produce cuando la temperatura de combustión alcanza unos 1370℃ y en los motores diesel la temperatura en el cilindro no se mantiene tan alta.

El mayor costo de los vehículos diesel se debe a que somete a mayor tensión a sus componentes por lo que deben ser de materiales más duraderos, más pesados reduciendo la relación potencia peso, por esta razón el chasis también tiene que ser más resistente y pesado para soportar el exceso de peso del motor, contiene capas

[3] http://www.automotriz.net/tecnica/images/conocimientos-basicos/mot-turbo-diesel_2.jpg

de aislamiento acústico debido a que el motor diesel es ruidoso por la alta compresión y la naturaleza de la combustión, todos estos factores incrementan el costo de los vehículos a diesel.

Un inconveniente de los motores diesel es el humo, frecuentemente hollín, resultado de un combustible que no se está mezclando y quemando adecuadamente o de mala calidad del diesel usado.

1.3.1. CICLO DEL MOTOR DIESEL.

El ciclo diesel de combustión se lo divide en cuatro tiempos o carreras, en la que cada tiempo corresponde con un movimiento del pistón entre el punto muerto inferior (PMI) y el punto muerto superior (PMS).

Primer Tiempo o Admisión: Estando el pistón en el PMS la carrera de admisión se produce cuando el pistón desciende y la válvula de admisión se abre, el aire es forzado a ingresar y llena el cilindro terminando este ciclo cuando el pistón llega al (PMI) y la válvula de admisión se cierra nuevamente.

Segundo Tiempo o Compresión: Después del PMI el pistón se mueve hacia arriba impulsado por el cigüeñal, se cierra la válvula de admisión con lo que el cilindro se sella y el aire queda atrapado; la carrera de compresión se produce cuando el pistón se mueve hacia arriba, el aire se comprime y la temperatura llega a unos 540℃.

Tercer Tiempo o Combustión: Cuando el pistón está a punto de llegar al PMS se inicia la inyección de combustible a alta presión, el inyector vaporiza combustible en el aire comprimido y caliente. El combustible inyectado en el aire caliente y comprimido, se mezcla con el aire y arde rápidamente, liberando la energía calórica del combustible, provocando un enorme aumento del calor y de presión por la expansión de los gases; el pistón, debido a la alta

presión es forzado a bajar, proporcionando la fuerza para mover el motor y el vehículo.

Cuarto Tiempo o Escape: Concluida la fase de trabajo y habiendo llegado el pistón al (PMI), se abre la válvula de escape al mismo tiempo que el pistón empieza su carrera hacia el PMS y elimina hacia el conducto de escape los gases producidos por la combustión en el cilindro y el ciclo se repite.

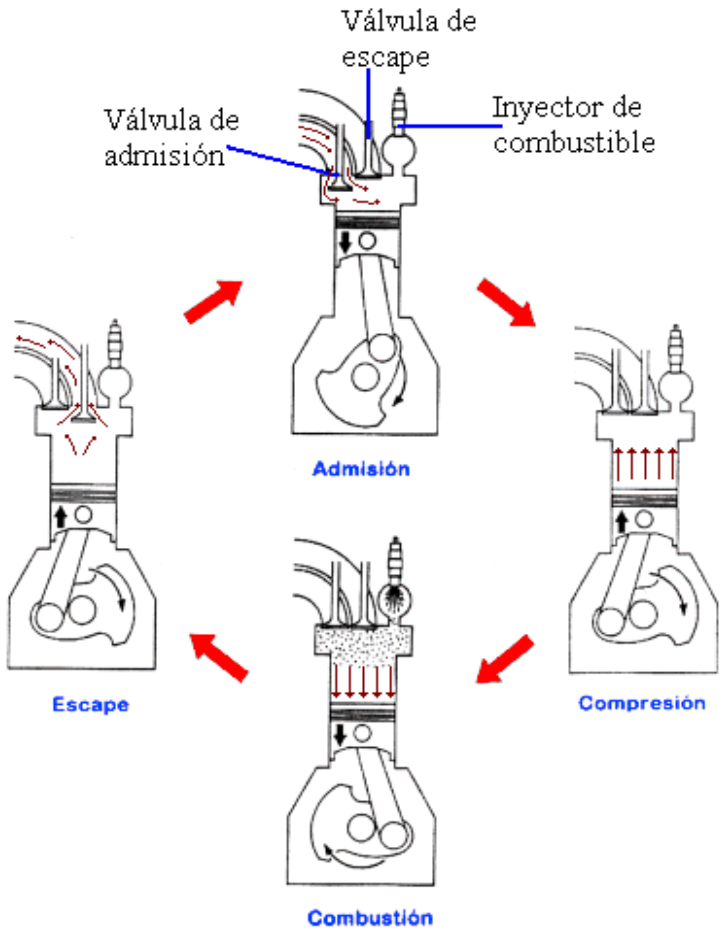


Figura **1.3: Ciclos del motor diesel de cuatro tiempos [4].**

[4] Motores Diesel y Turbo Diesel; 2006 , http://www.clubvwpolo.es/modules/newbb/viewtopic.php?viewmode=flat&type=&topic_id=1177&forum=5

1.4. PRINCIPALES EMISIONES DIESEL Y SUS EFECTOS

La clasificación general de los contaminantes, de acuerdo a su origen, es la que distingue entre contaminantes primarios y contaminantes secundarios; los vehículos diesel pueden producir estos dos tipos de contaminantes.

Contaminantes Primarios: Son aquellas sustancias que se generan a nivel del suelo y son emitidas directamente a la atmósfera desde una fuente identificable. Los principales de esta categoría son: monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO_2), monóxido de nitrógeno (NO), dióxido de nitrógeno (NO_2), dióxido de azufre (SO_2), compuestos orgánicos volátiles, metales pesados, hidrocarburos, y material particulado.

Contaminantes Secundarios: Son aquellos que se generan en la atmósfera mediante las reacciones de dos o más contaminantes primarios entre sí o con alguno de los componentes habituales del aire, con o sin foto activación (acción de la luz ultravioleta del sol), entre estos se tienen anhídrido sulfúrico (SO_3) dióxido de nitrógeno (NO_2), ozono (O_3), ácido nítrico (HNO_3), ozono (O_3), ácido sulfúrico (H_2SO_4) y compuestos orgánicos volátiles (COV).

Existen contaminantes que pertenecen a ambas categorías, es decir, que pueden ser emitidos directamente desde una fuente definida, o bien formarse en la atmósfera a partir de otras sustancias, o ambas cosas a la vez.

Las emisiones producidas por la combustión diesel están compuestas principalmente de materiales carbonosos e hidrocarburos condensados. A continuación se muestran los componentes de estas emisiones y sus efectos en el ser humano y en el medio ambiente.

COMPONENTES DEL GAS DE ESCAPE	UNIDAD DE MEDIDA	A RALENTÍ	A POTENCIA MÁXIMA
Óxidos de Nitrógeno NO_X	ppm	50 – 250	600 – 2500
Hidrocarburos HC	ppm C_1	50 – 500	150
Monóxido de Carbono CO	ppm	100 – 450	350 – 2000
Dióxido de Carbono CO_2	% en vol.	0 – 3,5	12 – 16
Vapor de Agua	% en vol.	2 – 4	0 – 11
Oxígeno	% en vol.	18	2 – 20
Nitrógeno y otros	% en vol.	resto	resto
Hollín	mg/m^3	≈ 20 (SZ ≈ 0,7)	≈ 200 (SZ ≈ 3,5)
Temperatura gas de escape	°C	100 – 200	550 – 750

Tabla 1.1 Composición y temperatura de los gases de escape [5].

1.4.1. ÓXIDOS DE AZUFRE

Los óxidos de azufre que se emiten a la atmósfera en mayores cantidades es el anhídrido sulfuroso (SO_2), y en menor proporción, que no rebasa el 1 ó 2 % del anterior, es el anhídrido sulfúrico (SO_3), y dependen de la cantidad de azufre que contenga el combustible.

El SO_2 es un gas incoloro, de olor picante e irritante, puede oxidarse en SO_3 que es un gas incoloro y muy reactivo que condensa fácilmente; en condiciones normales, no se encuentra en la atmósfera, ya que reacciona rápidamente con el agua atmosférica, formando ácido sulfúrico, el cual puede producir lluvia ácida, dando como resultado el depósito de los ácidos en lagos y suelo mediante lluvias, nieve o niebla. La lluvia ácida puede producir daños ambientales considerables, en los

[5]Bosch; Manual de la Técnica del Automóvil, Tercera Edición, Editorial Reverte, Barcelona, 1999.

suelos puede alterar la capacidad para descomponer la materia orgánica, las plantas pueden sufrir abrasión.

Este gas irrita los ojos, nariz y garganta y causa disminución de las funciones respiratorias, debilitamiento de las defensas pulmonares, agravamiento de las enfermedades respiratorias y cardiovasculares.

1.4.2. MONÓXIDO DE CARBONO CO

Es un gas inodoro, incoloro, venenoso e insípido, 3% más ligero que el aire, es muy estable y tiene una vida media en la atmósfera de 2 a 4 meses, se oxida a CO_2, es el contaminante del aire más abundante en la capa inferior de la atmósfera, sobre todo en el entorno de las grandes ciudades. Este contaminante es el resultado de la combustión incompleta de compuestos carbonados y algunos procesos industriales y biológicos. El CO_2 es el principal gas causante del efecto invernadero.

Este gas no parece afectar a las plantas ni a la superficie de los materiales, pero es muy tóxico para los seres humanos y los animales, ya que interfiere con el transporte de oxígeno en la sangre, al ser inhalado se combina con la hemoglobina de la sangre impidiendo la absorción de oxígeno y produciendo asfixia.

Este contaminante provoca dolores de pecho, cabeza, cansancio, reducción de la agudeza visual, destreza manual, la capacidad mental, priva a los tejidos del cuerpo del oxígeno necesario, en concentraciones altas puede provocar hasta la muerte.

Este compuesto es muy problemático especialmente en zonas urbanas con gran número de automóviles, para minimizar su producción es recomendable exigir que todos los autos regulen la mezcla aire-combustibles, para asegurar una combustión completa.

1.4.3. ÓXIDOS DE NITRÓGENO

El NO y el NO_2 son los más importantes, ambos son gases incoloros, en concentraciones excesivas ocasionan un color parduzco. Provienen de la quema de combustibles a temperaturas muy altas a partir del nitrógeno del aire, también se produce a partir del nitrógeno del carbón y aceites pesados de generadores de energía eléctrica, calderas industriales, motores de combustión interna, plantas de ácido nítrico, entre otros.

Los óxidos de nitrógeno reducen la visibilidad, además causan irritación en la nariz y ojos, edema pulmonar, bronquitis y neumonía.

Los óxidos de nitrógeno reaccionan con los VOC`s bajo la influencia de la luz solar formando ozono y smog. El NO_2 puede reaccionar con la humedad presente en la atmósfera para formar ácido nítrico que puede ser causa de considerable corrosión de las superficies metálicas.

1.4.4. COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES (VOC´s)

Son sustancias químicas que se convierten fácilmente en vapores o gases, contienen elementos como hidrógeno, oxígeno, flúor, cloro, bromo, azufre o nitrógeno. Se originan por evaporación de sustancias derivadas del petróleo o de otras sustancias orgánicas. Son compuestos precursores del ozono y del material particulado.

Estos contaminantes son considerados contaminantes atmosféricos debido a su toxicidad y a los malos olores que producen, contribuyen a la formación de smog. Probablemente, los VOC`s constituyen la segunda clase más extendida y diversa de emisiones, después de las partículas.

El benceno y butadieno son VOC's altamente tóxicos, son sustancias cancerígenas conocidas. El benceno (C_6H_6) produce alteraciones en la médula de los huesos y puede producir una disminución del número de glóbulos rojos, lo que a su vez puede causar anemia.

Los VOC's pueden producir hemorragias y afecta al sistema inmunológico, aumentando la probabilidad de contraer infecciones. Se acumula en el hígado, la placenta y la médula ósea. En exposiciones elevadas produce náuseas, afecta al material hereditario y se ha relacionado con casos de leucemia y cáncer de pulmón.

1.4.5. HIDROCARBUROS

El término hidrocarburo indica que la molécula contiene sólo carbono e hidrógeno, dentro de este grupo encontramos los Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP`s). Los HAP`s tienen la característica de permanecer por tiempos prolongados en diferentes medios debido a que pueden degradarse al reaccionar con la luz solar y con otras sustancias químicas presentes en el aire, extendiendo su presencia en este medio durante un período que dura de días a semanas.

Los HAP`s son productos de una mala combustión o evaporación de combustibles fósiles, además el medio ambiente está contaminado debido a los vapores de HAP`s que están adheridos al polvo y a otras partículas presentes en el aire.

Los HAP`s se encuentran en los suelos cercanos a las áreas donde se ha incinerado carbón, madera, gasolina u otros productos orgánicos, también en los suelos de sitios cercanos a depósitos de desechos peligrosos. Existen más de 100 grupos de HAP`s diferentes químicamente. Promueven la formación de ozono troposférico.

Se distribuyen en la atmósfera, la vegetación, el suelo, el agua y en los sedimentos. La presencia de estos compuestos en el ambiente son nocivas, ya que tienen

propiedades tóxicas, mutagénicas, cancerígenas y causan enfermedades pulmonares, el etileno inhibe el crecimiento de las plantas.

1.4.6. EL OZONO (O3)

Se encuentra a nivel del suelo es un contaminante incoloro, inodoro, de olor picante característico. El ozono estratosférico de la capa más alta de nuestra atmósfera, mejor conocido como la capa de ozono, protege a la tierra de los rayos ultravioletas dañinos del sol. El O_3 es el principal componente del smog fotoquímico o niebla fotoquímica y causa efectos nocivos en seres humanos y plantas.

Las fuentes principales de estos contaminantes son los productos de combustión incompleta que emiten los escapes de los vehículos, la quema de combustibles fósiles y el uso de compuestos de petróleo y solventes orgánicos en procesos industriales y de limpieza. Una estrategia de control para el ozono es reglamentar las fuentes de VOC`s y óxidos de nitrógeno

Diversos estudios epidemiológicos sobre la exposición al ozono a corto plazo han encontrado relación entre el ozono y la inflamación de pulmón, además causa afecciones respiratorias como alergias y asma. A elevadas concentraciones causa irritación de ojos, superficies mucosas y pulmones.

1.4.7. EL MATERIAL PARTICULADO (MP)

Las fuentes móviles que son impulsadas principalmente por gasolina o diesel, producen emisiones de MP que son dañinas para el ser humano.

El MP es una compleja mezcla de partículas suspendidas que incluyen tanto partículas sólidas como gotas de líquido que se encuentran en el aire, las que varían

en tamaño y composición dependiendo de sus fuentes de emisiones. Después de su emisión, las partículas experimentan reacciones químicas en el aire, por esto su composición y tamaño varían dependiendo de la proximidad a las fuentes, el clima y otros factores.

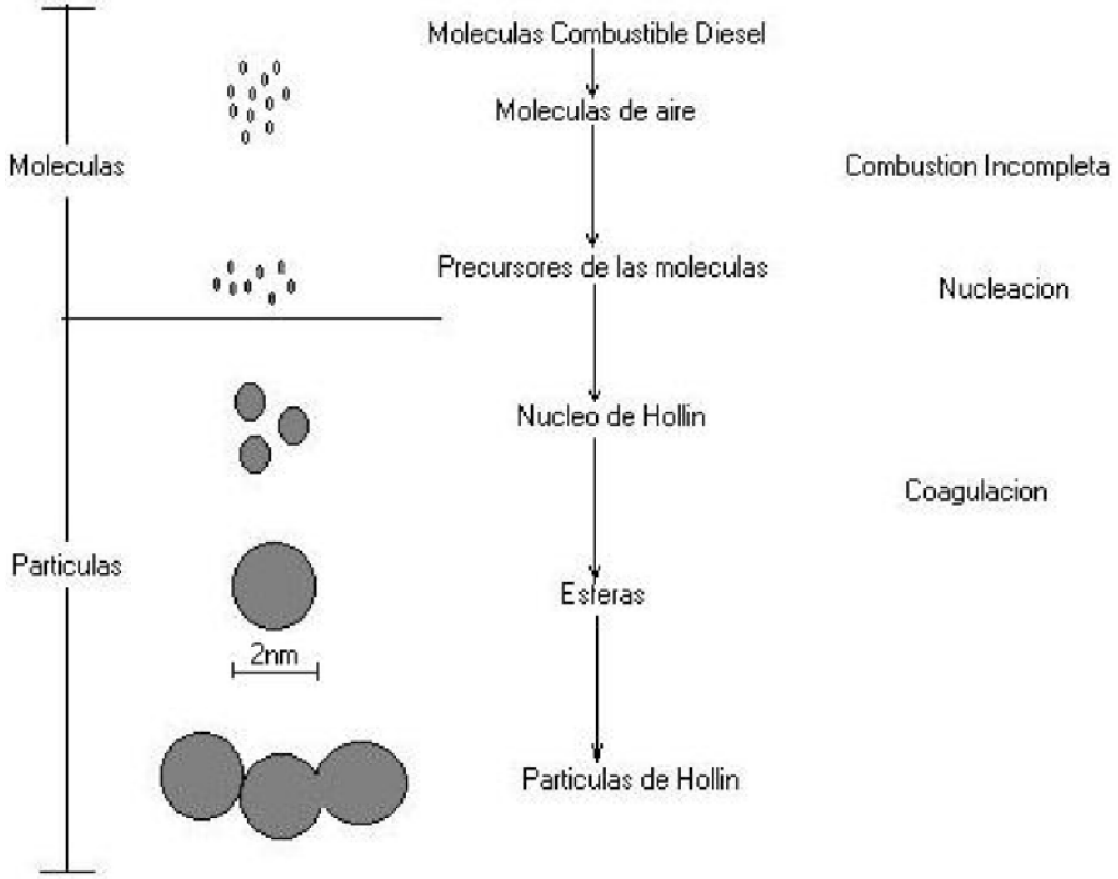


Figura 1.4: Formación de material particulado[6].

La inyección de combustible, se realiza a altas presiones y se mezcla con aire a altas temperaturas. Posteriormente, se produce el proceso de ignición instantánea en algunas zonas de la mezcla, generándose un aumento de temperatura y presión en el interior del cilindro. Mientras la inyección sigue ocurriendo, el combustible es atomizado, vaporizado, mezclado con aire y quemado. Por lo tanto, existen lugares

[6] Macarena Alvarado; Emisiones de Material Particulado en motores de Combustión Interna Ciclo Diesel; Universidad de Chile; 2001; http://cabierta.uchile.cl/revista/22/articulos/pdf/rev4.pdf

en el interior de la cámara en donde, por falta de oxígeno, se produce una combustión incompleta siendo precursores de la formación de material particulado.

El MP nace de una molécula de combustible, que se une con moléculas de aire producto de una combustión incompleta y por arrastre físico de los materiales no combustionados.

La calidad de la combustión depende, principalmente, de las características de la inyección del combustible, de las características de mezclado entre el combustible y el aire, y de la presencia de combustible y aceite lubricante en las paredes de la cámara de combustión y en los asientos de las válvulas de aire. En estas zonas, reacciones de pirólisis forman hidrocarburos Policíclicos aromáticos, los cuales promueven la formación de estructuras de fulerenos que al aglomerarse forman partículas esféricas de entre 10 y 70 nm de diámetro. Estas partículas, a su vez, se aglomeran entre sí para formar partículas alargadas y ramificadas estas partículas, compuestos semivolátiles tales como compuestos orgánicos solubles, se condensan al enfriarse los gases de combustión [7].

La formación de MP depende de procesos físicos y químicos que se dan en la combustión, entre los procesos físicos de los cuales depende el MP están la Coagulación, Adsorción, Nucleación, Condensación y Evaporación. Entre los procesos químicos tenemos la Pirólisis y Polimerización, a continuación se detallan cada una de estos.

Coagulación: En este proceso las partículas interaccionan y colisionan unas con otras formando nuevas partículas, aumentando las partículas grandes y disminuyendo las partículas pequeñas.

[7] Revista de Ingeniería; Bogotá 2004; Revisión de las emisiones de material particulado por la combustión de diesel y biodiesel; Néstor Y. Rojas; Departamento de Ingeniería Química, Universidad de Los Andes http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0121-49932004000200007&script=sci_arttext,

Adsorción: Las moléculas de un gas o vapor se adhieren a la superficie de una partícula sólida. Si la tasa de adsorción aumenta la adsorción puede volverse condensación y si decrece los componentes orgánicos se desligan de las partículas y regresan a su estado gaseoso.

Nucleación: Es el proceso de formación de nuevas partículas a partir de las sustancias orgánicas volátiles, formando cadenas de moléculas (clusters) a partir de moléculas de vapor, estas pueden continuar creciendo hasta dar lugar a la condensación.

Condensación y evaporación: Este proceso se forma cuando hay Nucleación y Adsorción cuando hay presentes partículas estables y altos niveles de saturación, un decremento en la temperatura incrementa la posibilidad de condensación. La condensación y la evaporación pueden afectar el tamaño del material particulado.

Pirólisis: Se puede definir como la descomposición térmica de un material en ausencia de oxigeno o cualquier otro reactante. Esta descomposición se produce a través de una serie compleja de reacciones químicas y de procesos de transferencia de materia y calor.

Polimerización: En este proceso los reactivos se agrupan químicamente entre sí dando lugar a una molécula de gran peso, llamada polímero que puede ser una cadena lineal o una macromolécula tridimensional.

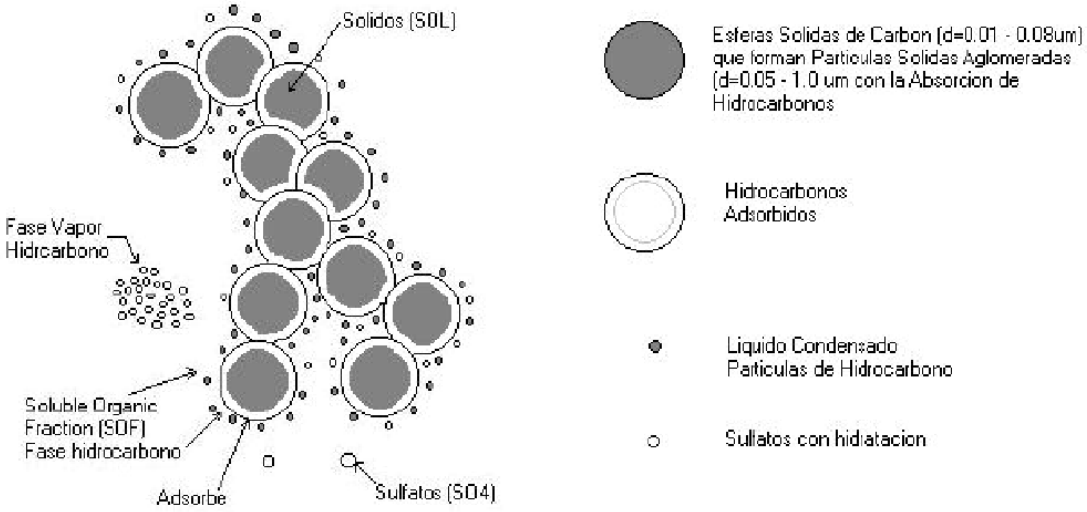


Figura 1.5: Formación química de MP[8].

Los vehículos automotores son la principal fuente de material particulado emitido a la atmósfera. El principal contribuyente de las emisiones de material particulado es el parque automotor a diesel.

Estas partículas sólidas o líquidas se manifiestan en un amplio rango de tamaños, pero desde el punto de vista de la salud las que mayor interés tienen son las partículas con diámetros menores a 10 micrómetros, que pueden ser inhaladas y se acumulan dentro del sistema respiratorio (faringe, tráquea, bronquios y alveolos). De estas las que tienen un diámetro menor a 2.1 micrómetros entran en los alveolos, de donde pueden pasar directamente a la sangre, las partículas que tienen entre 10 y 2,1 micrómetros no pueden ingresar en los alveolos pero quedan retenidas por un tiempo en los bronquios y bronquiolos, después son expulsados hacia la tráquea y deglutidas pasan al estómago en donde pueden ser absorbidas vía digestiva y llegar a la sangre.

[8] Macarena Alvarado; Emisiones de Material Particulado en motores de Combustión Interna Ciclo Diesel; Universidad de Chile; 2001; http://cabierta.uchile.cl/revista/22/articulos/pdf/rev4.pdf

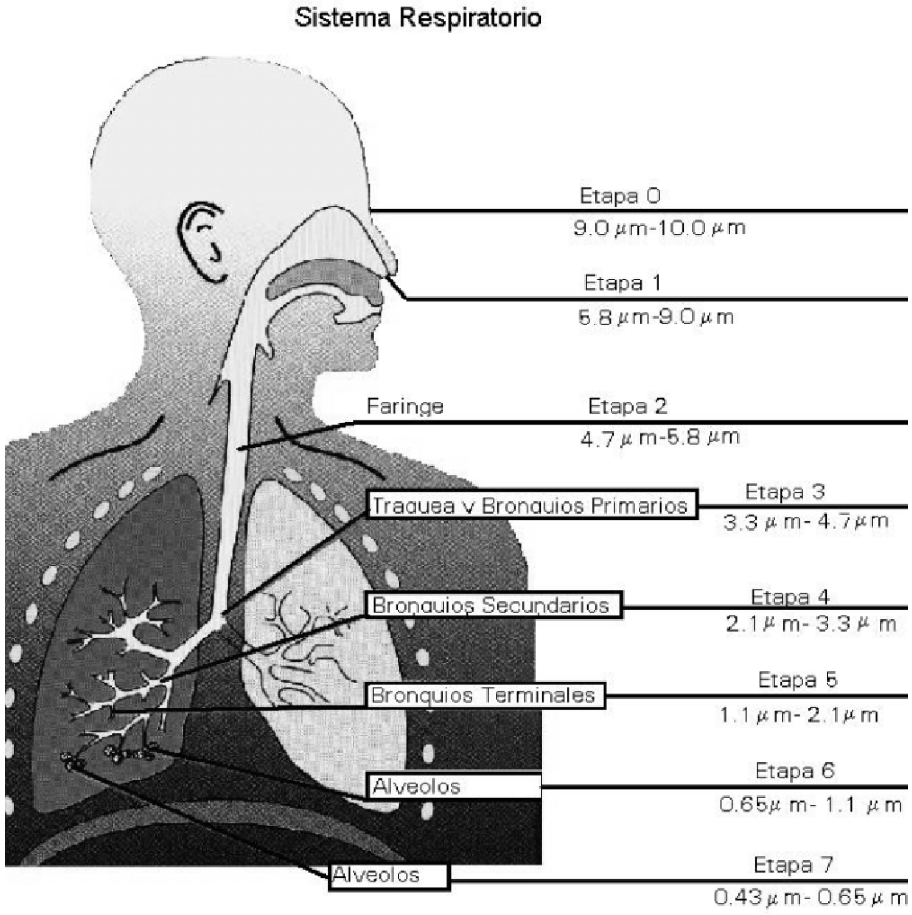


Figura 1.6: Profundidad de penetración según el tamaño de partícula [9].

El MP puede tener efectos perjudiciales sobre la salud y bienestar del hombre, contribuyendo al aumento de enfermedades respiratorias, cardiovasculares, dan origen a procesos inflamatorios, daño funcional en los pulmones, además algunos de sus componentes son responsables de causar cáncer y mutaciones genéticas. Por esta razón es importante monitorear y controlar el material particulado en las emisiones vehiculares para mejorar la calidad del aire.

[9] Macarena Alvarado; Emisiones de Material Particulado en motores de Combustión Interna Ciclo Diesel; Universidad de Chile; 2001; http://cabierta.uchile.cl/revista/22/articulos/pdf/rev4.pdf

1.5. MEDICIÓN DE CONTAMINANTES DE GASES DE ESCAPE.

La medición de contaminantes se realiza para evaluar el cumplimiento de las normas de emisión, medir la eficacia de las tecnologías de control y para llevar a cabo investigaciones científicas.

Categoría	Peso bruto del vehículo Kg	Peso del vehículo cargado Kg	CO g/Km	HC g/Km	NO_X g/Km	Partículas g/Km	Ciclos de Prueba
Vehículos Livianos	Todos	Todos	2,10	0,25	0,62	0,12	FTP - 75
Vehículos Medianos	≤ 3 860	≤ 1 700	6,2	0,5	0,75	0,16	
		>1 700 ≤ 3 860					
Vehículos Pesados**	> 3 860	Todos	15,5	1,3	5,0	0,10***	Transiente pesado

* Prueba realizada a nivel del mar
** en g/bHP-h (gramos / brake Horse Power - hora)
*** para buses urbanos el valor es 0,07 g/bHP-h

Tabla 1.2: Límites máximos de emisiones permitidos para fuentes móviles con motor de diesel a partir del año modelo 2000 (ciclos americanos) [10].

Categoría	Peso bruto del vehículo Kg	Peso de Referencia Kg	CO g/Km	HC g/Km	NO_X g/Km	Partículas g/Km	Ciclos de Prueba
M1 (1)	≤ 3 500	Todos	2,72	0,97 (4)		0,14	ECE – 15 + EUDC
M1 (2), N1		≤ 1 250	2,72	0,97 (4)		0,14	
		>1 250 ≤ 1 700	5,17	1,4 (4)		0,19	
		>1 700	6,9	1,7 (4)		0,25	
N2, N3, M2, M3 (3)	> 3 500	Todos	4,0	1,1	7,0	0,15	ECE - 49

* Prueba realizada a nivel del mar
(1) Vehículos que transportan hasta 5 pasajeros más el conductor y con un peso bruto del vehículo menor o igual a 2,5 toneladas.
(2) Vehículos que transportan hasta 5 pasajeros más el conductor o cuyo peso bruto del vehículo exceda de 2,5 toneladas.
(3) Unidades g/KWh.
(4) HC + NO_X.

Tabla 1.3: Límites máximos de emisiones para fuentes móviles con motor de diesel a partir del año modelo 2000 (ciclos europeos) [11].

[10] Instituto Ecuatoriano de Normalización; Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 207:2002; 6.1.1
[11] Instituto Ecuatoriano de Normalización; Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 207:2002; 6.2.1

La norma ecuatoriana que establece los límites de las emisiones de vehículos con motor diesel es la NTE INEN 2 207:2002.

Los equipos utilizan diferentes técnicas para medir los contaminantes, las más comunes son las siguientes:

- Fotometría Infrarroja no Dispersiva.
- Cromatografía de Gases.
- Quimioluminiscencia en fase gaseosa. (NO, NO_2).
- Griess-Saltzman modificado para determinación de NO_2.
- Fluorescencia ultravioleta.
- Método de Quimioluminiscencia con etileno.
- Gravimetría de muestreado de volumen
- Variación de conductividad.
- Método de espectroscopia de absorción óptica diferencial.
- Fluorescencia Molecular.
- Método de fotometría de absorción ultravioleta
- Transducción gravimétrica de oscilaciones inducidas. Microbalanza de oscilaciones de sensor en voladizo con cabezal PM10
- Atenuación de rayos beta.
- Contado de Partículas Condensadas (CPC).
- Análisis de Movilidad Electrostática (DMA, SMPS, DMPS, DMS).
- Clasificación del Tamaño en Base a la Inercia.
- Medición Integral de Dispersión y Extinción de Luz.
- Medida Directa de la Absorción.

- Sensado Foto Acústico.
- Incandescencia por Láser Inducido.
- Medida de Masa con Método de Filtrado.
- Determinación de las Masas de las Partículas con un Filtro de Cristal de Cuarzo (TEOM, QCM).
- Absorción de Rayos Beta y de Luz.
- Determinación de la Masa de la Partícula por Análisis de Gases.
- Carga Fotoeléctrica
- Medidor de Enturbiamiento (Opacímetro)

Componente	Procedimiento
CO, CO_2	Analizador no dispersivo infrarrojo (NDIR)
Óxidos de Nitrógeno (NO_X)	Detector de Quimioluminiscencia (CLD)
Total de Hidrocarburos (THC)	Detector de Ionización de Llamas (FID)
CH_4	Combinación de procedimiento cromatografía de Gases y Detector de Ionización de Llamas (GC - FID)
CH_3OH, CH_2O	Combinación de proceso de cartucho y técnica de análisis cromatográficas.
Partículas	Proceso gravimétrico , medidor de enturbiamiento (Opacímetro)

Tabla 1.4 Técnicas de medición para los diferentes contaminantes [12].

Existen una gran cantidad de equipos de análisis y medición de gases de escape que se han desarrollado en base a estas técnicas de medición, estos equipos requieren de una etapa muy importante que es preparar la muestra, esta etapa se la puede realizar diluyendo la muestra.

[12]Bosch; Manual de la Técnica del Automóvil; Tercera Edición; Editorial Reverte; Barcelona; 1999.

1.6. SISTEMAS DE DILUCIÓN

Dilución es el proceso de disminuir la concentración de una solución o soluto (gas de escape) añadiendo solvente (aire de dilución).

Concentración es la medida de cuanto de una sustancia dada se ha mezclado con otra, es decir la cantidad de soluto disuelta en un solvente.

Solución es una mezcla homogénea de una o más especies químicas que no reaccionan entre sí, solvente es aquella sustancia que permite la dispersión de otra en su seno, es el medio dispersante de una solución.

En la mayoría de equipos de análisis y medición de gases de escape, la muestra tiene que ser diluida antes de la medición para:

- Hacer compatible la concentración de la muestra con el rango de medida del equipo de medición.
- Prevenir la condensación y Nucleación de los componentes de los gases de escape.
- Evitar la condensación y adsorción de los compuestos volátiles en el material particulado.
- Disminuir el proceso de coagulación de partículas.
- Mantener la muestra a una temperatura adecuada para los instrumentos de medida.

Para evitar la absorción en la superficie de partículas existentes y la formación de nuevas partículas, se realiza la dilución con aire precalentado o dilución en caliente.

En la recolección de los gases de escape existen dos métodos, el primero es el método de muestreo de flujo total (MMFT), en este método se toma la totalidad de los gases emitidos por los vehículos para ser analizado, el otro es el método de

muestreo de flujo parcial (MMFP), con este método se recolecta una fracción de las emisiones para ser analizada.

1.6.1. DILUSOR DE FLUJO TOTAL

Los dilusores de flujo total por lo general son de gran tamaño, por esta razón su uso es limitado a pruebas en laboratorios, utilizan el muestreo a flujo constante (CVS), además la muestra tiende a la condensación afectando a la medición de los contaminantes.

Figura 1.7: Túnel de dilución de flujo total [13].

[13] Macarena Alvarado; Emisiones de Material Particulado en motores de Combustión Interna Ciclo Diesel; Universidad de Chile; 2001; http://cabierta.uchile.cl/revista/22/articulos/pdf/rev4.pdf

Los dilusores de flujo parcial tienen la ventaja de ser pequeños, facilitando su manipulación y montaje, también su requerimiento de energía es pequeña, entre los dilusores de flujo parcial existen varios tipos que son:

1.6.2. DILUSOR CON EYECTOR

Es de tamaño muy pequeño aproximadamente 360 mm de longitud y 120 mm de diámetro, pero tiene el inconveniente de operar con una relación de dilución constante de alrededor de 1:10, se utilizan varios dilusores en serie para ampliar el rango de dilución.

El flujo de aire de dilución a alta velocidad alrededor del tubo inyector provoca una caída de presión en la cual se encuentra una boquilla de extracción de muestra. La mezcla es diluida instantáneamente, por lo que se proporciona una muestra homogénea y estable sin necesidad de complejos dispositivos de control de flujos.

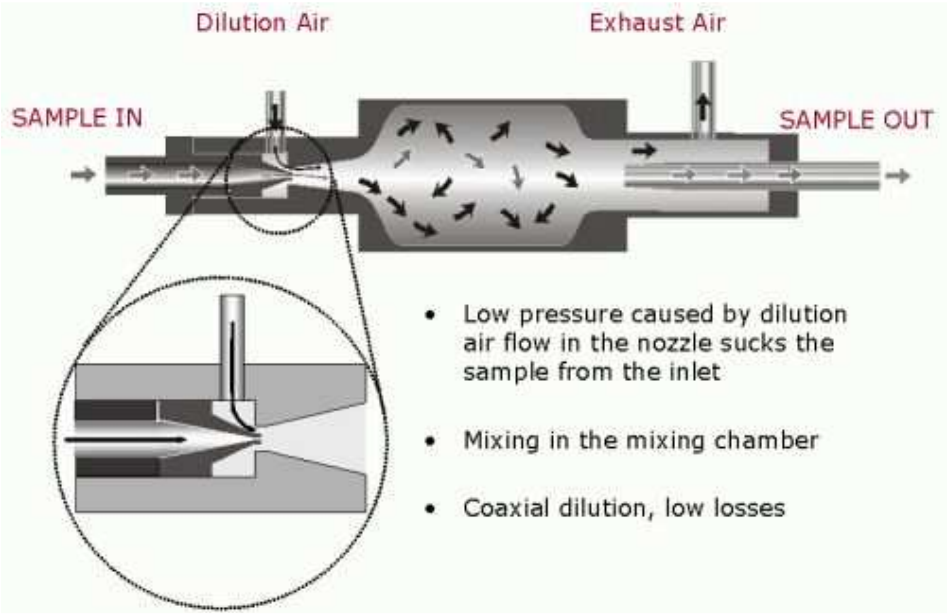


Figura 1.8: Diagrama esquemático del dilusor con eyector [14].

[14] http://dekati.com/cms/files/Image/500/Dekati%20diluter%20OP.jpg

1.6.3. MINI - MICRO TÚNEL.

El micro túnel permite obtener una pequeña fracción de los gases de escape, los cuales serán diluidos con aire en el interior del micro túnel, además es de menores dimensiones, su longitud es aproximadamente de 50 cm, utiliza la técnica de muestreo a volumen constante (CVS), su uso se limita debido a que trabaja a una relación de dilución fija o con pequeños rangos de variación (1:10 – 1:100), esto se logra variando el aire de dilución.

En el micro túnel la muestra se mezcla con aire de dilución a 25 ºC ± 5ºC, posee una bomba de vacío que toma la muestra de los gases diluidos y los filtra por medio de una corriente definida de muestreo total que es controlada.

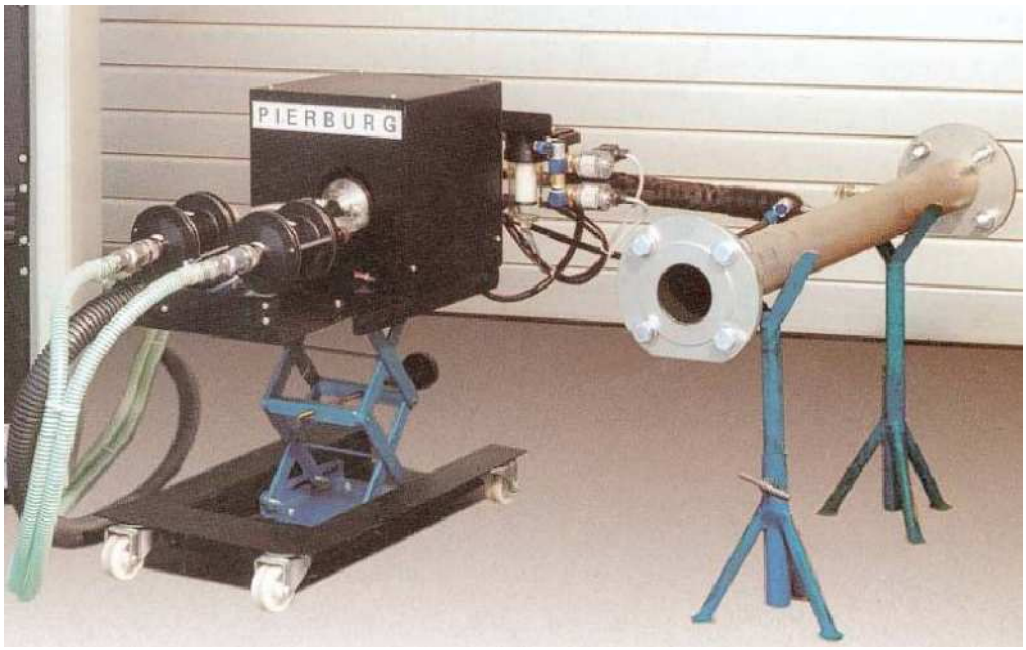
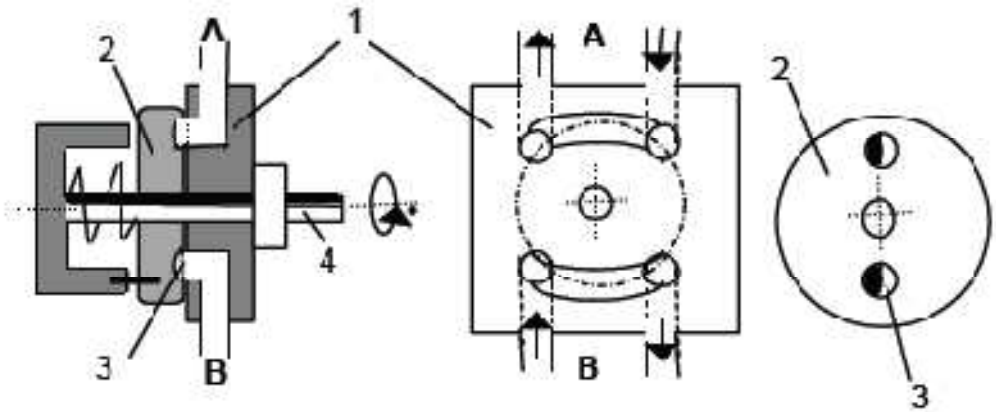


Figura 1.9: Sistema micro túnel de dilución [15].

[15] Macarena Alvarado; Emisiones de Material Particulado en motores de Combustión Interna Ciclo Diesel; Universidad de Chile; 2001; http://cabierta.uchile.cl/revista/22/articulos/pdf/rev4.pdf

1.6.4. DILUSOR DE DISCO ROTATORIO

Este dilusor permite obtener un amplio rango de dilución (1:10 – 1:1000), es de tamaño pequeño lo que hace fácil de transportar, instalar y desinstalar.



A: Canal de ingreso gases de escape B: Canal de medición (Muestra diluida)	1: Cuerpo Dilusor (bloque de acero) 2: Disco rotatorio 3: Cavidad cónica en el disco 4: Eje de rotación para conectar el motor de pasos. 5: Resorte que mantiene unidos el disco giratorio con el cuerpo dilusor.

Figura 1.10: Esquema del dilusor con disco rotatorio [16].

Este equipo está compuesto de un bloque macizo de acero inoxidable que posee dos ductos internos, por el primero ingresa la muestra de gases de escape, y por el otro pasa el aire de dilución, estos ductos salen a la cara de un disco que rota axialmente movido por un motor a pasos, el disco posee un número específico de alojamientos, al girar el disco los alojamientos pasan por los ductos, al pasar por el primer ducto la cavidad se llena de la mezcla de gases de escape, al pasar por el segundo ducto la porción de gas es evacuada en el interior de este ducto lográndose de esta manera la dilución.

[16] http://www.matter-engineering.com/products.html

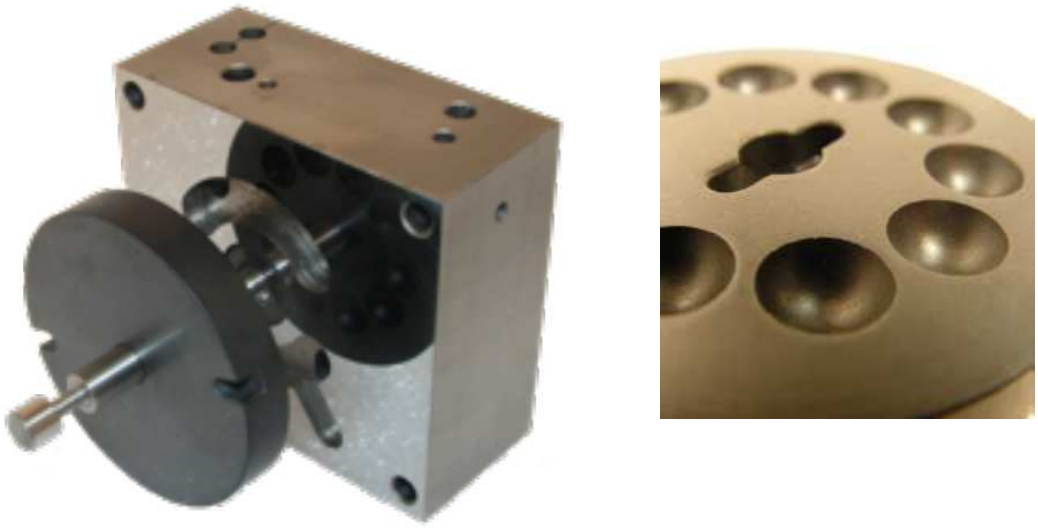


Figura 1.11: Dilusor con disco rotatorio marca Matter Engineering [17].

En otras palabras la dilución se logra con el llenado y vaciado de los alojamientos del disco rotatorio, el disco transporta un volumen de fluido de la línea de muestreo de los gases de escape hacia el ducto por donde pasa el aire de dilución, a este fenómeno físico se lo llama Transporte de Masa por Convección – Difusión.

- **Transporte Convectivo:** Es un transporte activo ya que consume energía. Provoca la transferencia del disolvente sobre todo el soluto, la masa se transfiere debido al movimiento global del fluido. Puede ocurrir que el movimiento se efectúe en régimen laminar o turbulento. El flujo turbulento resulta del movimiento de grandes grupos de moléculas y es influenciado por las características dinámicas del flujo. Tales como densidad, viscosidad, etc.

- **Transporte Difusivo:** La masa puede transferirse por medio del movimiento molecular fortuito en los fluidos (movimiento individual de las moléculas), debido a una diferencia de concentraciones. La difusión molecular puede ocurrir en sistemas de fluidos estancados o en fluidos que se están moviendo.

[17] http://www.matter-engineering.com/products.html

Es la tendencia natural de las moléculas a moverse desde zonas de alta concentración hacia zonas de baja concentración. Al final, la mezcla alcanza un estado de equilibrio, en el que las moléculas de ambas sustancias están mezcladas uniformemente. La velocidad de difusión depende de la masa de las moléculas: las moléculas con más masa se difunden más lentamente.

El dilusor de flujo total se lo descarta por el tamaño del equipo, los dilusores de eyector y mini túnel de dilución se los descarta por que estos equipos necesitan varias etapas para realizar la dilución y su rango de dilución es pequeño.

En la tesis de Ingeniería Mecánica de la Escuela Politécnica Nacional desarrollada con CORPAIRE, “TEORIA Y DESARROLLO DE UN SISTEMA DE DILUCIÓN PARA LA MEDICION DE EMISIONES DE MOTORES CICLO DIESEL” se selecciono el dilusor de disco rotativo por cumplir con todos los requerimientos.

En esta tesis de Ingeniería Mecánica se desarrolló el análisis del sistema, el disco que realiza la dilución y el bloque macizo de acero inoxidable que contiene dos ductos internos, por el primero ingresa la muestra de gases de escape sin diluir y por el otro el aire de dilución.

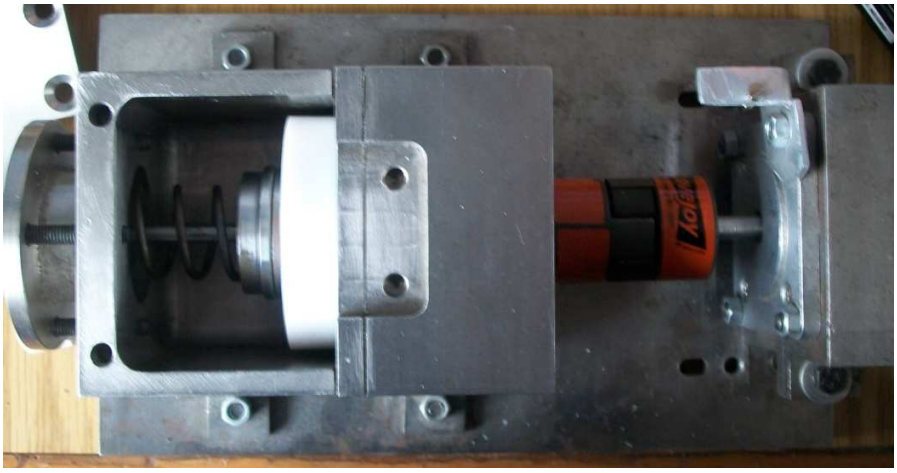


Figura 1.12: Dilusor de disco rotativo hecho en la tesis de Ingeniería Mecánica

En este proyecto se va a completar el túnel de dilución, diseñando e implementando el sistema de control automático, que cuente con una interfaz a un computador.

Se va a dimensionar, adquirir, instalar y acondicionar los diversos componentes, tanto mecánicos como eléctricos con el fin de poder realizar un control automático utilizando LabVIEW.

Sensar y acondicionar la temperatura de ingreso de la muestra y del aire filtrado para diluir, así como la temperatura de salida diluida del sistema.

Medir y acondicionar la señal de presión en el ingreso de la muestra y en el ingreso del aire de dilución.

Sensar y acondicionar la medición de la velocidad del motor utilizando un encoder para medir esta variable.

Diseñar e implementar el tipo de control que mejor se acople a la función del túnel de dilución y desarrollarla utilizando LabVIEW. Visualizar en éste la operación del túnel así como almacenar datos en un archivo plano.

Manejar una tarjeta de adquisición de datos de LabVIEW especial para termocuplas y otra tarjeta multifunción para controlar las diferentes variables.

Controlar la velocidad de un motor en el túnel de dilución el cual regula la dilución de la mezcla.

Dimensionar y colocar un dispositivo para calentar el aire de dilución hasta una temperatura aproximada de 150℃. y realizar el cont rol de la temperatura.

Dimensionar, adquirir e instalar una bomba que ajusta el flujo del aire para dilución; las tuberías que llevan la salida de los vehículos a diesel a la dilución; la tubería que lleva el aire para diluir la mezcla y la tubería que lleva la muestra diluida al equipo de medida.

Dimensionar, adquirir e instalar los componentes de donde se obtendrá el aire con el que se diluirá la mezcla los cuales podrían ser filtros y compresor.

Regular el flujo de aire que se va a diluir controlando la bomba que lleva las emisiones de los vehículos hasta el túnel de dilución.

Diseñar y elaborar las placas electrónicas correspondientes, donde se encontrarán las fuentes de poder y los circuitos electrónicos para controlar el túnel de dilución.

2. CAPÍTULO 2

DISEÑO Y DESARROLLO DEL HARDWARE

2.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA

El sistema de dilución que se está construyendo es un dilusor de disco rotatorio en el cual se debe controlar los siguientes parámetros:

- Se debe controlar la frecuencia de giro del disco rotativo para poder controlar la dilución, esto se logra variando la velocidad de un motor a pasos que está conectado con el disco.

- Controlar la temperatura del aire filtrado para dilución a 150 ℃, para evitar que se produzca condensación y nucleación de los compuestos volátiles.

- Es necesario medir la presión en el ingreso de la muestra y en el ingreso del aire de dilución.

- Se necesita controlar y mantener el flujo constante de los gases de escape, para esto se utilizara una bomba peristáltica.

- Se debe medir la temperatura tanto en el ingreso de los gases de escape, el ingreso del aire de dilución y en la salida diluida.

- Se debe controlar y visualizar el funcionamiento del túnel de dilución desde un computador a través de LabVIEW en el cual se almacenarán datos en un archivo plano.

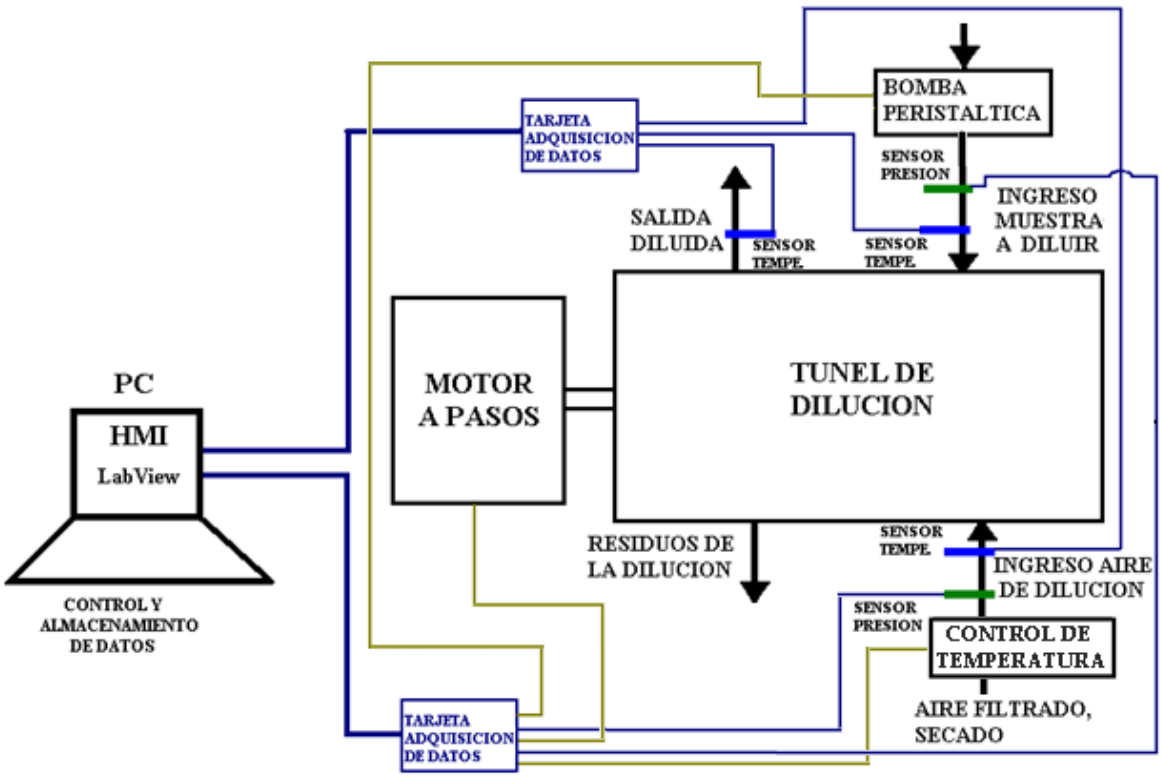


Figura 2.1: Diagrama esquemático de los requerimientos del túnel de dilución.

2.2. SENSORES

Los sensores son instrumentos que captan las variaciones de las magnitudes o intensidades de las variables, para este proyecto las variables que se necesita medir son: temperatura, presión velocidad de giro del disco rotativo.

2.2.1. TEMPERATURA

Existen muchos sensores para medir temperatura, en este caso se utilizan termocuplas tipo K, una termocupla es la unión de dos alambres de distinto material (para ésta termocupla Cromel - Alumel) unidos en un extremo, al aplicar temperatura en la unión de los metales se genera un voltaje muy pequeño (efecto Seebeck) del orden de los mili voltios el cual aumenta con la temperatura.

Figura 2.2: Ejemplo de termocuplas.

Se emplearon tres termocuplas, las cuales se encuentran ubicadas en la entrada de los gases de escape, en la entrada del aire de dilución y en la salida diluida de la muestra; Estos sensores se conectan con la tarjeta NI 9211 de LabVIEW por lo que no es necesario un acondicionamiento de los termopares.

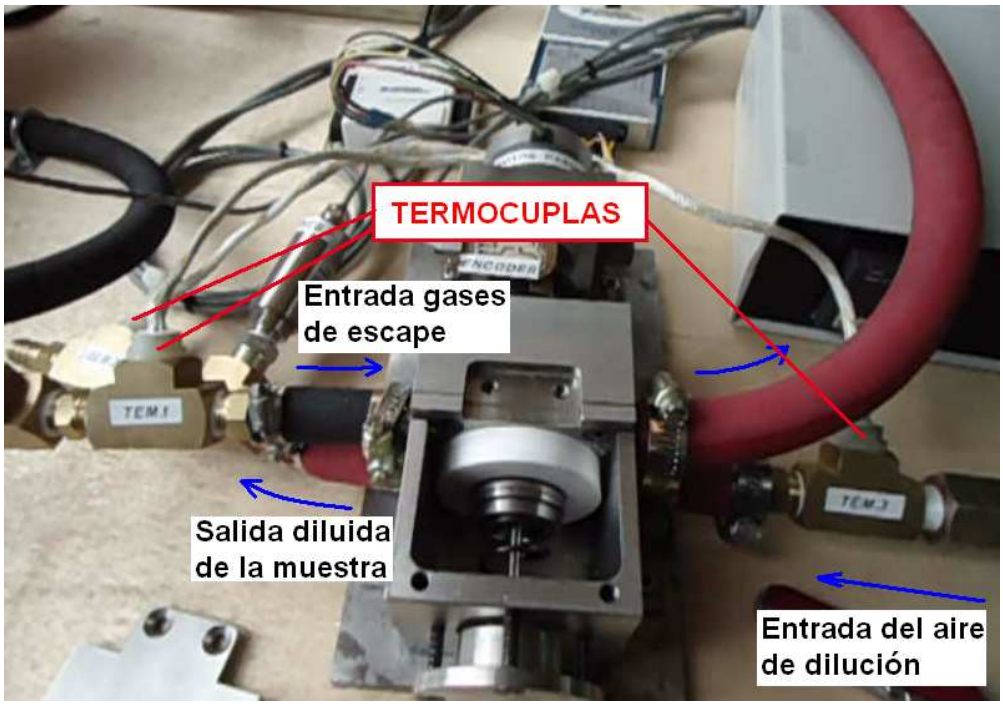


Figura 2.3: Ubicación de los termopares en el proceso.

Características	
Tipo	K
Rango	-270°C a 1372 °C
Terminal positivo	Chromel NI – Cr (Amarillo)
Terminal negativo	Alumel Ni – Al (Rojo)
Buena resistencia a la oxidación.	

Tabla 2.1: Características termocuplas utilizadas.

2.2.2. PRESIÓN

El elemento utilizado para sensar presión es un transductor tipo diafragma marca OMEGA PX209-015A5V, es un elemento trazable a NIST, con este sensor se puede tener una salida de voltaje de 0 a 5V o una salida de corriente de 4 a 20 mA, para este proyecto se utilizó la salida de voltaje por que se dispone de una tarjeta de adquisición de datos con entradas análogas de voltaje.

Figura 2.4: Sensor de presión.

Se pusieron dos sensores de presión, el uno en la entrada de los gases de escape y el otro en la salida diluida de la muestra.

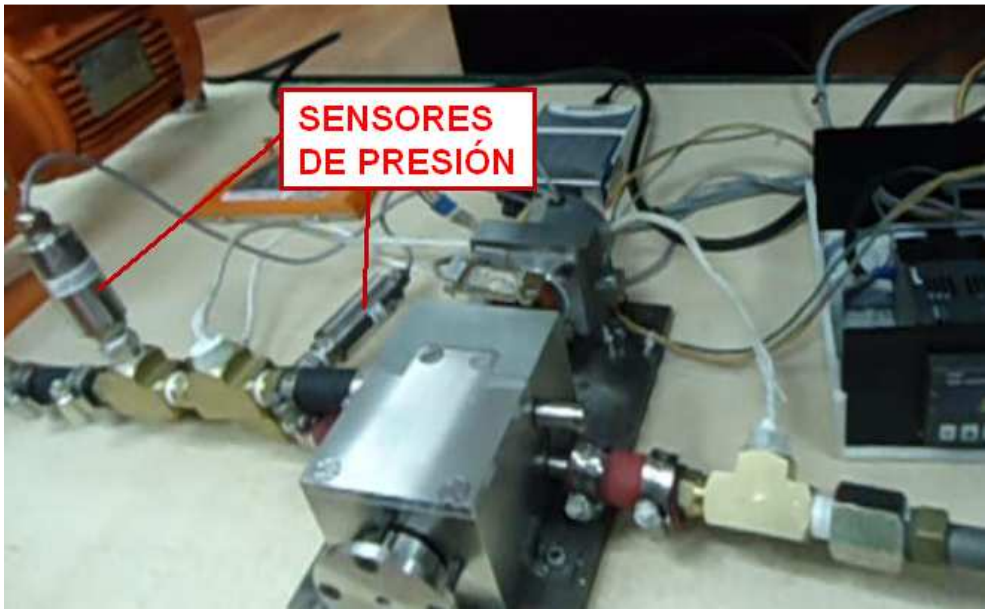


Figura 2.5: Ubicación de los se sensores de presión.

Características	
Alimentación	24Vdc@15mA (7-35Vdc)
Salida	0 - 5Vdc, 4 - 20mA
Rango presión absoluta	0 – 15 psia, 0 – 1 BAR
Temperatura de operac.	-54 a 121 ° C
Precisión	0,25%
Respuesta de tiempo	2msec typ

Tabla 2.2: Características sensores de presión utilizados.

2.2.3. VELOCIDAD

Para medir la velocidad se utiliza un encoder, este fue ubicado en el eje del motor entre el acople del motor y el túnel de dilución.

Figura 2.6: Encoder utilizado para sensar velocidad.

Se requirió una placa que contenga al elemento óptico que permite leer los pulsos del encoder, el sensor óptico es el GP411 el cual es un opto transistor, el cálculo de las resistencias se la hizo de la siguiente manera:

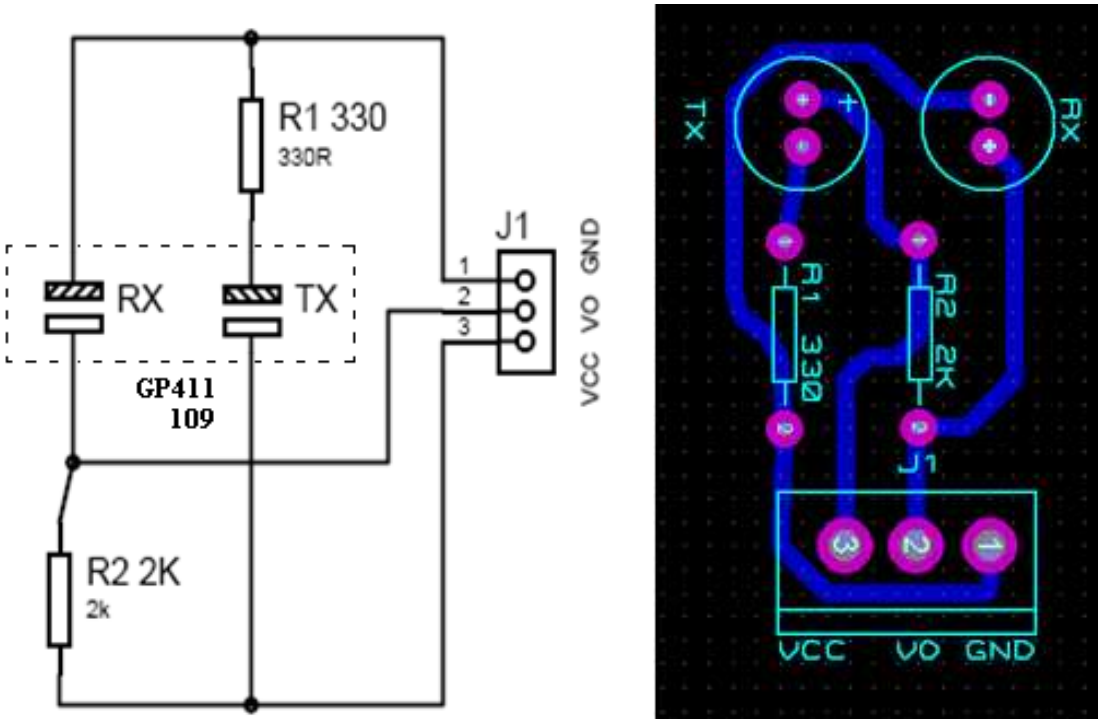
$$R1 = \frac{VCC - Vled}{Iled}$$

$$R1 = \frac{5V - 1.2V}{10mA} = 380\Omega \rightarrow 330\Omega$$

$$R2 = \frac{VCC - Vce\,(sat)}{I}$$

$$R2 = \frac{5V - 0.2V}{2.5mA} = 1.9k\Omega \rightarrow 2k\Omega$$

La placa fue diseñada con la ayuda del programa PROTEUS, los diseños tanto en ISIS como en ARES fueron:



a) b)

Figura 2.7: a) Circuito electrónico elaborado en ISIS para sensar pulsos del encoder. b) Circuito impreso elaborado en ARES para sensar pulsos del encoder.

Características	
Alimentación	5 V.
Pulsos por vuelta	30

Tabla 2.3: Características sistema para sensar velocidad y encoder.

2.3. ACTUADORES

Los actuadores son dispositivos que cambian las condiciones de la planta, modificando la variable que está siendo controlada.

Los actuadores que se utilizaron para este proceso son los siguientes:

2.3.1. CALENTADOR TUBULAR EN LINEA PARA AIRE

Este actuador es una resistencia eléctrica que permite calentar el aire con el que se va a realizar la dilución.

Este elemento está diseñada para colocarse directamente en la línea de proceso que lleva el aire para dilución, es una sección de tubería con los extremos roscados en la que viene acoplada la resistencia de calentamiento y una termocupla tipo K ubicada específicamente para medir la temperatura final del aire de dilución.

Figura 2.8: Calentador tubular en línea para procesos con aire.

Características	
Potencia	500 W
Alimentación	120 V
Diámetro	1/2´ NPT
Longitud	10´
Terminales	Bronce roscado

Tabla 2.4: Características calentador tubular para aire.

Este actuador es controlado a través de un control digital de temperatura microprocesado marca COEL HW 4900 que se lo describe posteriormente en la sección 2.4.1.

2.3.2. BOMBA PERISTALTICA.

Este tipo de bomba es de desplazamiento positivo, y su funcionamiento se basa en la presión que ejercen progresivamente dos rodillos sobre un tubo de goma, empujando el producto y produciendo un flujo constante.

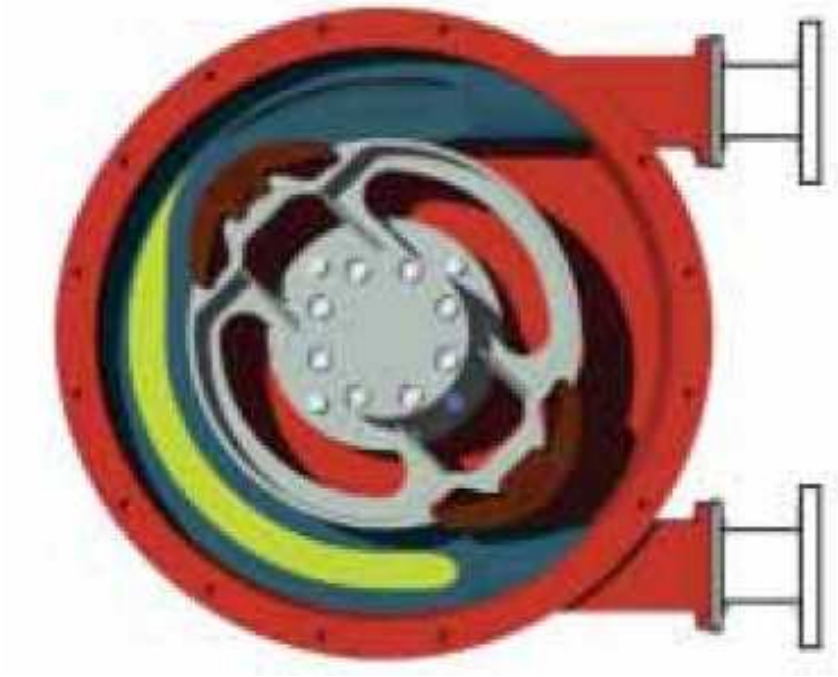


Figura 2.9: Bomba peristáltica.

La manguera es el único componente que entra en contacto con el fluido bombeado elimina todo riesgo de contaminación o incompatibilidad del fluido con los materiales de la bomba, además simplifica y abarata su mantenimiento.

La bomba peristáltica elegida para este proceso es de la marca *WATSON MARLOW VARMECA 31 ML,* esta bomba es monofásica de 115V ± 5% - 50/60Hz e incluye un variador de frecuencia para poder modificar la velocidad del motor de la bomba.

Figura 2.10: Partes de bomba peristáltica VARMECA 30 de Bredel [18].

Características	
Marca	WATSON MARLOW VARMECA 31 ML
Potencia	0.37 KW
Alimentación	110V , 1 fase, 60 Hz
Flujo Máximo	0,6 gal/min
Manguera	1/2 ” NPT

Tabla 2.5: Características bomba peristáltica.

[18] Manual WATSON MARLOW BREDEL, bomba VARMECA 30

La bomba permite mantener un flujo constante de la muestra de gases de escapa y llevar el gas de escape de los vehículos hasta el equipo de dilución.

Esta bomba es controlada por el usuario mediante un botón en la interfaz del HMI realizado con el programa LabVIEW, este botón prende y apaga la bomba peristáltica activando o desactivando una salida digital de la tarjeta de adquisición de datos NI USB-6008, la cual activa o desactiva un relé que cierra o abre la alimentación a la bomba.

2.3.3. MOTOR DE PASOS.

Es un actuador electromecánico que convierten impulsos eléctricos en movimientos mecánicos, estos motores giran con movimientos discretos, por cada impulso el motor gira un ángulo específico, la velocidad de giro depende de la frecuencia de los pulsos de excitación.

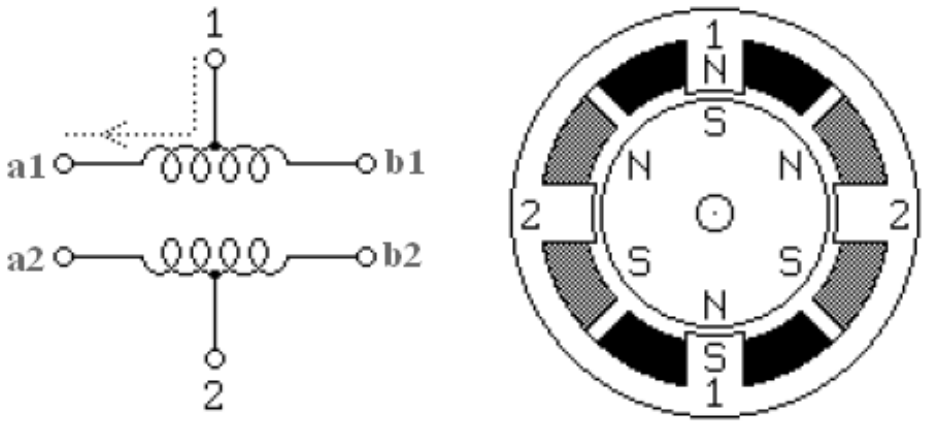


Figura 2.11: Estructura de un motor de pasos.

Este motor se encarga de mover el disco rotativo que realiza la dilución en el sistema de dilución. Se eligió este tipo de motor debido a que es fácil de controlar la velocidad de giro y el rango de velocidades que se necesitan son bajas y se las puede obtener fácilmente con estos motores.

Figura 2.12: Motor de pasos utilizado para mover el disco rotativo.

Características	
Marca	Step – Syn
Grados por paso	1.8 ° / paso
Alimentación	4.1 V
Corriente	1.1 A

Tabla 2.6: Características Motor de pasos.

Para controlar este motor se usa un microcontrolador PIC16F873A como se lo verá en la sección 2.4.2.

2.4. CONTROLADORES

Son dispositivos que determinan el error del sistema y en base a esto determina que acción tomar para estabilizar el lazo.

Los controladores que se utilizaron en el sistema de dilución son los siguientes:

2.4.1. CONTROL DE TEMPERATURA.

Para controlar la temperatura se utiliza un control digital de temperatura microprocesado marca COEL HW 4900, el cual puede funcionar como un control ON-OFF o como un controlador PID, en la pantalla visualiza tanto el valor de la variable como el valor del set point, contiene tres salidas tipo relé y entradas para diferentes tipos de sensores de temperatura como termopares o RTD.

Figura 2.13: Control de temperatura marca COEL.

Este controlador comanda al calentador tubular en línea para aire, que contiene una termocupla tipo K para sensar la temperatura del aire de dilución y la resistencia eléctrica para calentar el aire filtrado.

Características	
Marca	COEL
Modelo	HW 4900
Alimentación	24 V AC / DC
Salidas 1 y 2	Relé 250V, 8A
Salida 3	Relé 250V, 5A

Tabla 2.7: Características Control de temperatura.

La temperatura es mantenida a 150 ºC para evitar que se produzca condensación y nucleación de los compuestos volátiles, esta temperatura se la puede cambiar variando el set point en este controlador si se lo requiere.

2.4.2. CONTROL DE VELOCIDAD DEL MOTOR A PASOS.

Para controlar la velocidad del motor a pasos se utiliza un micro controlador PIC 16F873A, este elemento genera los pulsos que excitan las bobinas del motor a pasos.

Se realizó una placa electrónica donde se encuentra tanto el microcontrolador PIC y los conectores que se requieren para los sensores de presión como para enviar los datos a las diferentes partes del sistema.

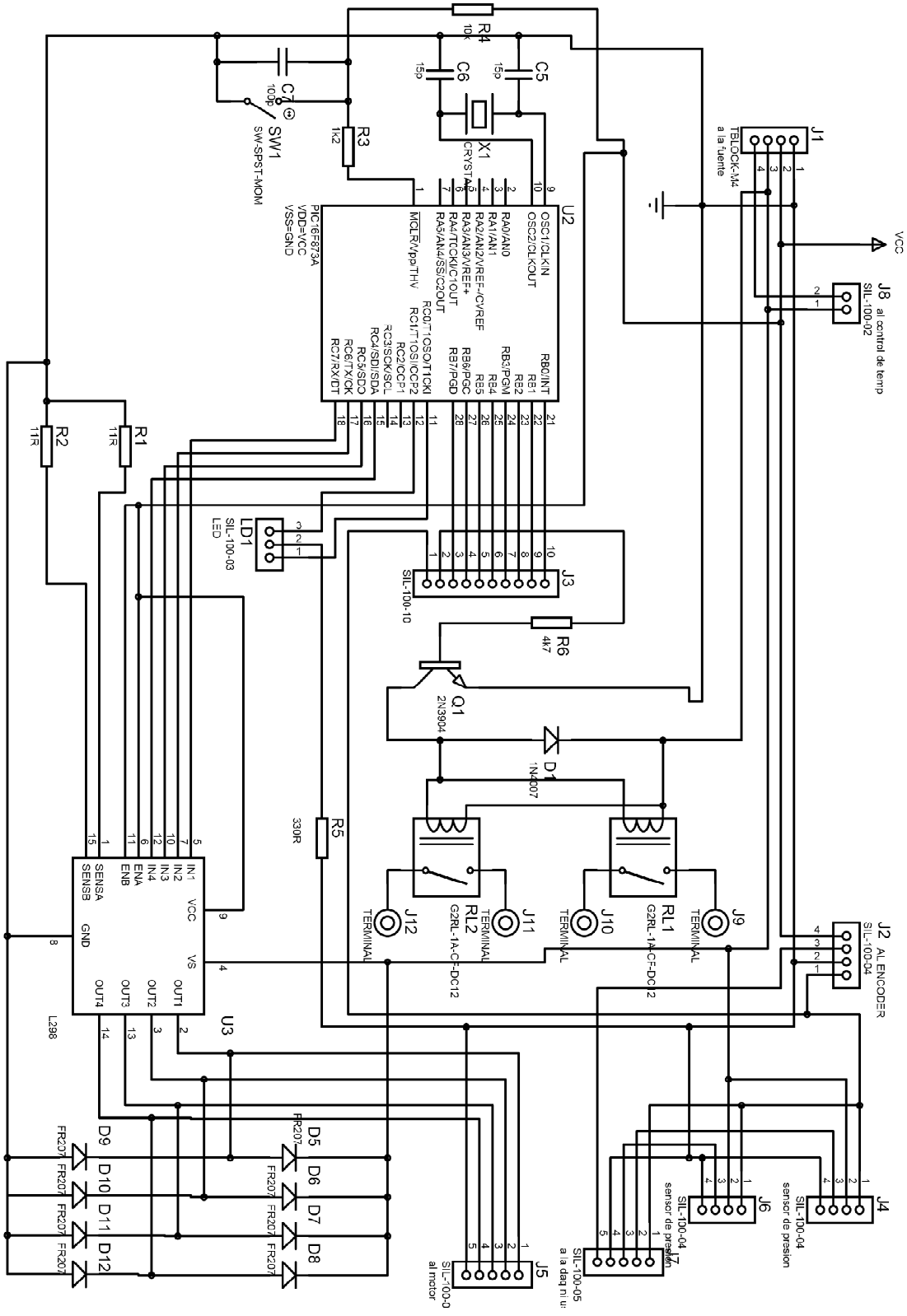


Figura 2.14: Diagrama electrónico del circuito que contiene el control de velocidad.

El microcontrolador PIC recibe el dato de la velocidad a la que debe girar el motor del túnel de dilución, desde el programa LabVIEW digitalmente a través de un puerto de ocho canales de la tarjeta de adquisición de datos NI USB 6008, el microcontrolador genera las cuatro frecuencias dependiendo del valor de la velocidad, estas señales son enviadas al integrado L298 que es un Driver que puede manejar corrientes de hasta 4A, este elemento es usado para acoplar potencias con el motor a pasos.

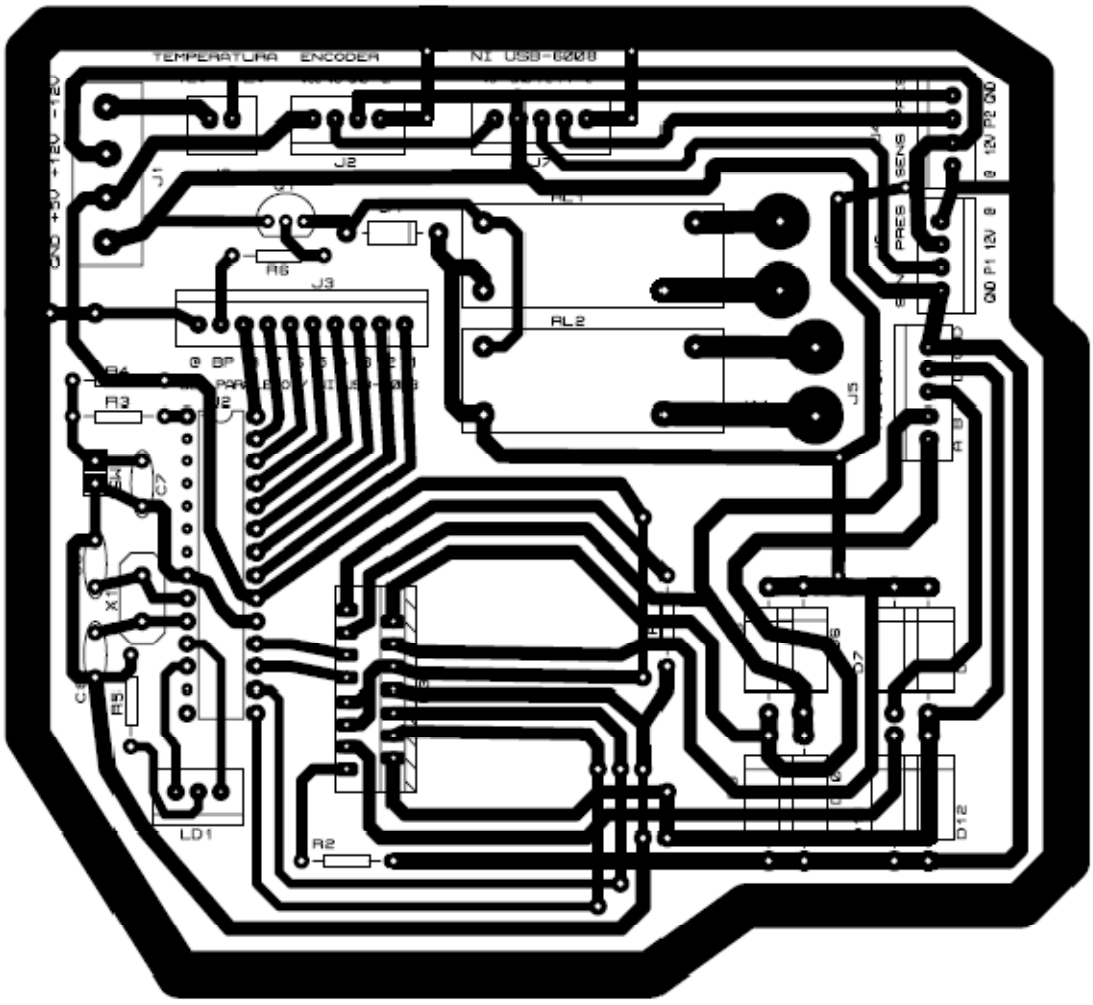


Figura 2.15: Diagrama de la tarjeta electrónica que contiene el control de velocidad realizado en el programa ARES.

2.5. HARDWARE DEL COMPUTADOR.

Los requerimientos del computador están dados por el programa LabVIEW 8.0, la resolución de pantalla requerida es 1024 × 768 pixeles, el procesador mínimo requerido es Pentium III o Celeron 866 MHz pero National Instruments recomienda un Pentium 4/M o un procesador equivalente.

La memoria RAM mínima para LabVIEW 8.0 es de 256 MB de RAM pero National Instruments recomienda que tenga 512 MB de RAM.

LabVIEW 8.0 requiere mínimo 900 MB de espacio en disco para la instalación mínima de LabVIEW y 1.2 GB de espacio en disco para la instalación completa de LabVIEW en WINDOWS, en MAC OS el requerimiento es de 500 MB de espacio en disco para la instalación mínima y 600 MB para la instalación completa, para LINUX la instalación mínima requiere 400MB y la instalación completa requiere 550MB de espacio libre.

Si se va a utilizar con LINUX LabVIEW 8.0 requiere la librería GNU C (glibc) versión 2.2.4 o posteriores, también LabVIEW 8.0 se lo corre en Red Hat Enterprise Linux WS 3 o posteriores, MandrakeLinux/Mandriva 10.0 o SuSE Linux 9.1 o posteriores.

Otro requerimiento importante del computador es que debe contar por lo menos de dos puertos USB para conectar las tarjetas de adquisición de datos.

2.6. TARJETAS DE ADQUISICIÓN DE DATOS DE LABVIEW.

En este proceso se utilizaron dos tarjetas de adquisición de datos de National Instruments para ingresar los valores medidos de las variables que intervienen en este proceso, al computador.

2.6.1. TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS NI USB-6008.

Esta es una tarjeta multifunciones de adquisición de datos que posee ocho canales análogos de entrada, dos canales análogos de salida, doce canales digitales de entrada/salida y un contador de 32 bits con una alta velocidad de interface USB.

Figura 2.16: Tarjeta de adquisición de datos NI USB - 6008

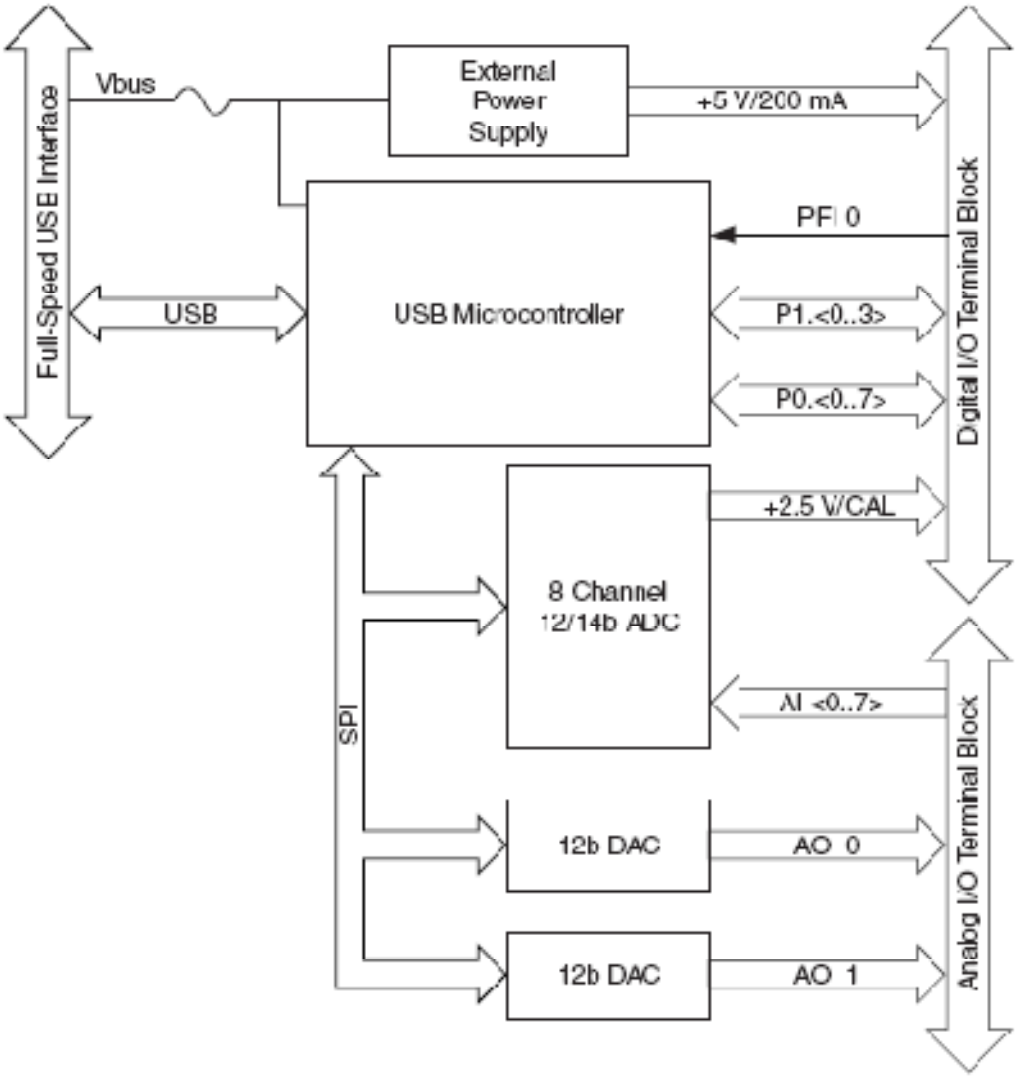


Figura 2.17: Diagrama de bloques de una tarjeta NI USB – 6008

En esta tarjeta se utilizó el pórtico P0 que tiene ocho canales para enviar el dato de la velocidad del motor al microcontrolador, estos canales corresponden a los terminales que van del 17 al 25 de la tarjeta de adquisición de datos.

Para el conteo de los pulsos generados por el encoder se utilizó el contador de eventos PFI 0 que corresponde al terminal 29 de esta tarjeta.

Para registrar el valor de los sensores de presión se utilizaron dos canales análogos diferenciales el AI2 y AI3, que corresponden a los terminales 8 y 9 para el canal AI2 y los terminales 11 y 12 para el canal AI3

2.6.2. TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS NI 9211.

Este es un módulo de entrada para termocuplas de cuatro canales, con una resolución de 24 bits, este elemento es traceable a NIST y se lo puede utilizar con el chasis CompactDAQ o con el chasis CompactRIO, en este caso de dispone de un chasis CompactDAQ NI USB – 9162.

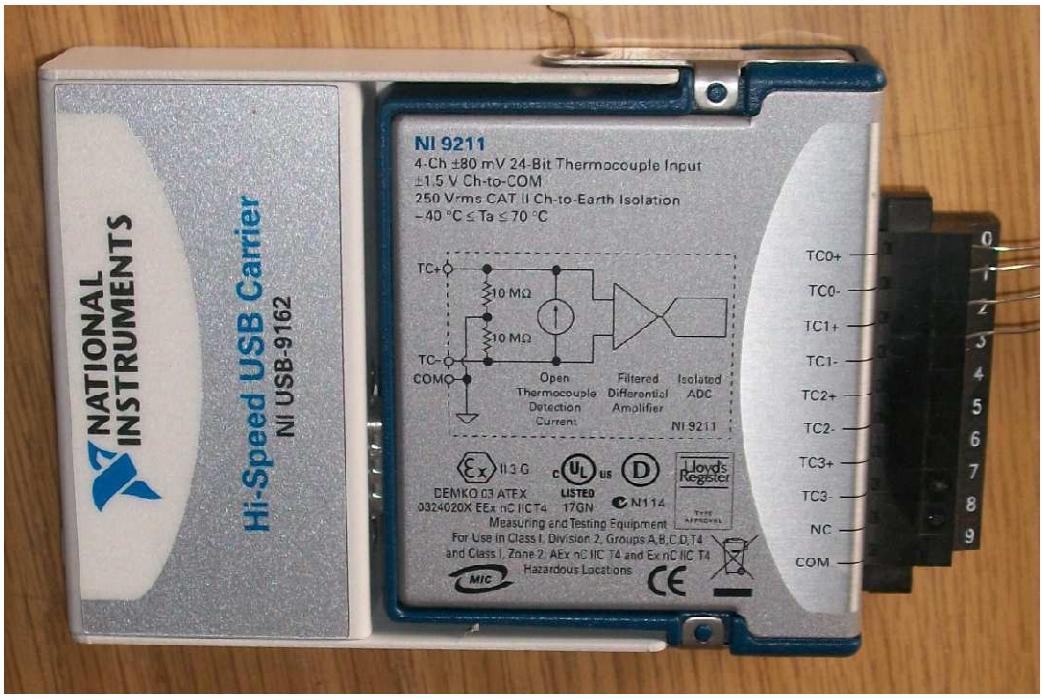


Figura 2.18: Tarjeta de adquisición de datos NI 9211 con chasis NI USB – 9162

De esta tarjeta se utilizaron tres de los puertos para conectar las termocuplas que sensan la temperatura de la salida de los vehículos, el aire de dilución y la salida diluida del túnel de dilución.

2.7. FUENTE DE ALIMENTACION

Para alimentar tanto el motor a pasos como el circuito de control y los sensores se utilizó una fuente switching.

Las fuentes switching son eficientes, de bajo peso y espacio en comparación con la tecnología lineal. El voltaje AC de la red es primero rectificado y suavizado por un puente de diodos y condensadores, para luego ser chopeado a alta velocidad, luego viene un transformador de ferrita para reducir el voltaje.

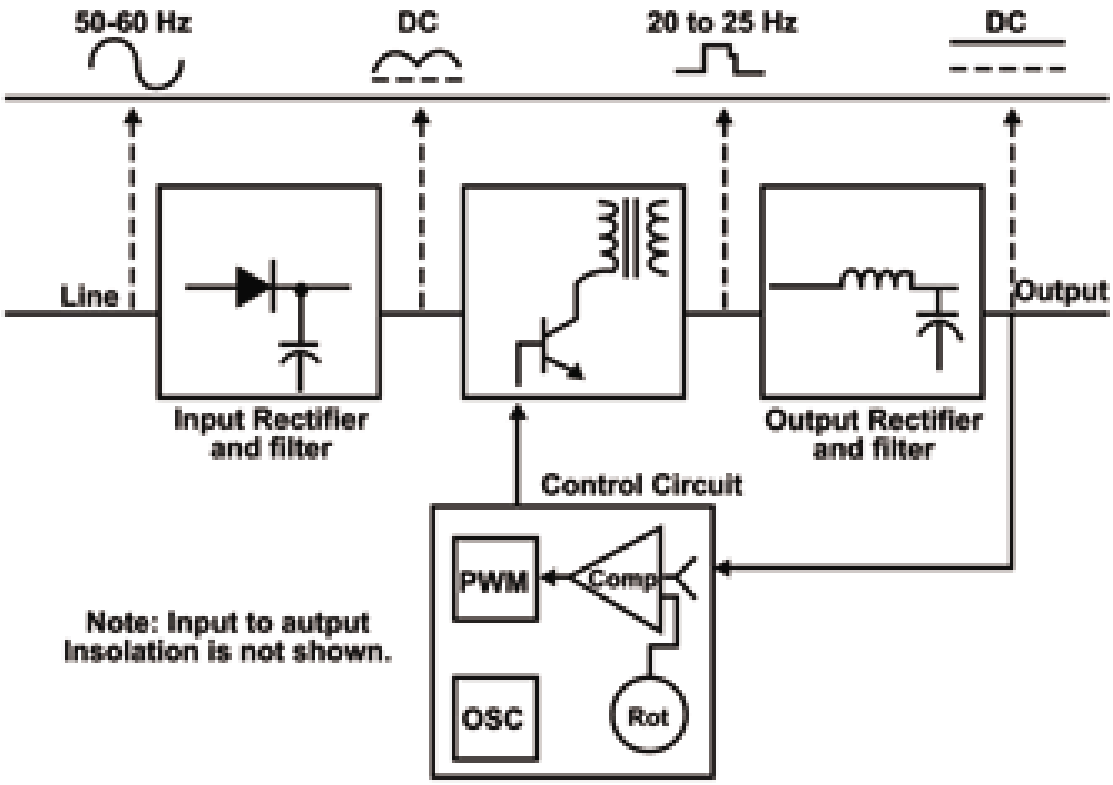


Figura 2.19: Diagrama de una fuente switching [19].

[19] Rolando Dunner; Tecnología Switching; http://www.emb.cl/electroindustria.

Una vez reducido el voltaje, la salida DC es recuperada por un rectificador de diodos y suavizada por un filtro formado por inductancias y condensadores. El voltaje de salida es monitoreado por un sistema de control, que regula el ancho de los pulsos en la compuerta para aumentar o reducir el voltaje según los requerimientos de la carga.

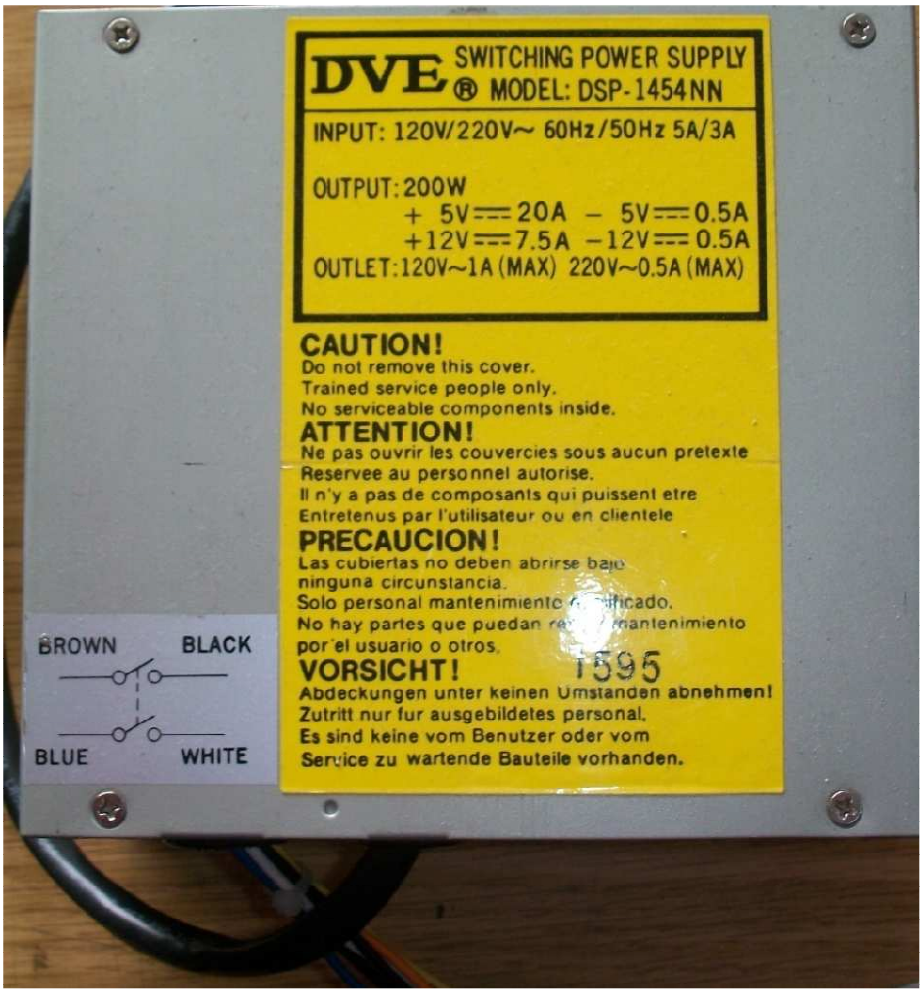


Figura 2.20: Fuente switching utilizada en el proyecto.

Características	
Marca	DVE
Modelo	DSP – 1454 NN
Alimentación	120Vac 1A / 220Vac 0,5A
Salidas	+5V 20A / +12V 7,5A / -5V 0.5A / -12V 0,5A

Tabla 2.8: Características Fuente de alimentación.

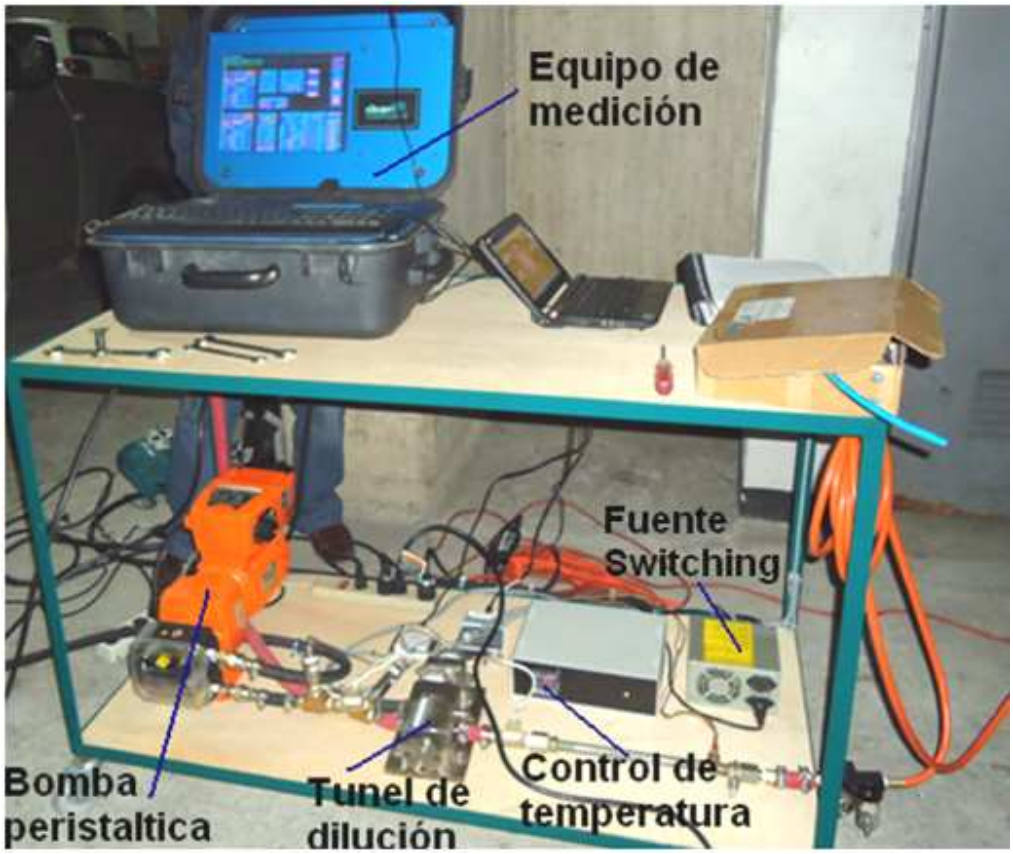


Figura 2.21: Foto frontal del equipo indicando las diferentes partes.

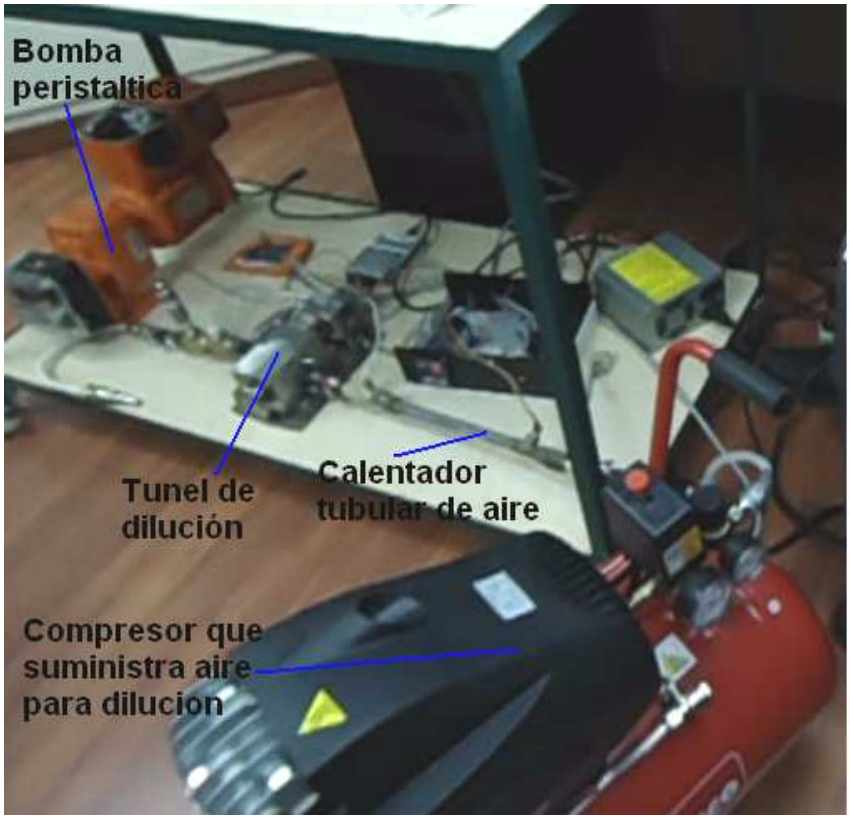


Figura 2.22: Foto indicando partes del equipo.

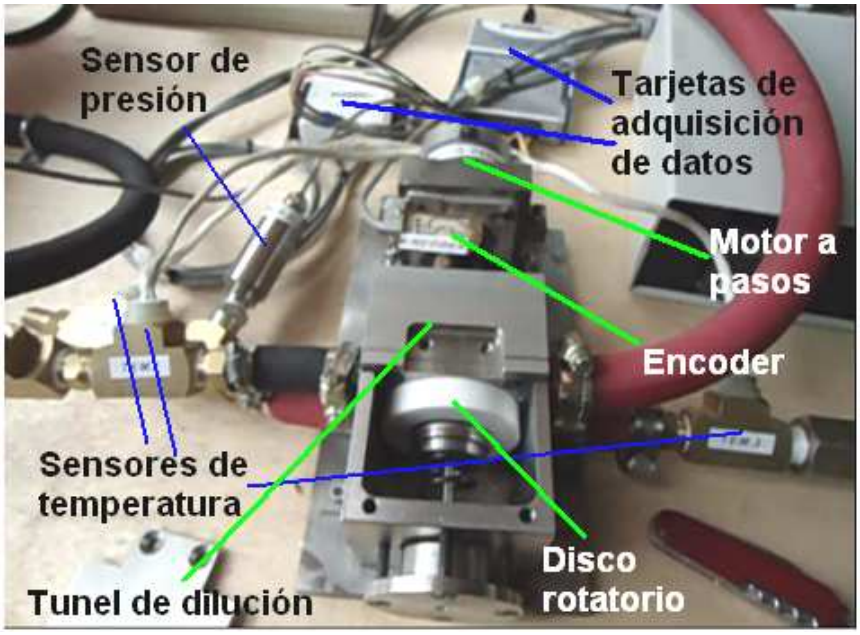


Figura 2.23: Foto del túnel de dilución con sus partes.

2.8. DIAGRAMA DE CONTROL

Los diagramas de control se los utilizan para brindar la información necesaria para la instalación, comprobación, puesta en marcha y mantenimiento de los instrumentos que intervienen en el proceso, por esta razón se detalla el diagrama de la planta.

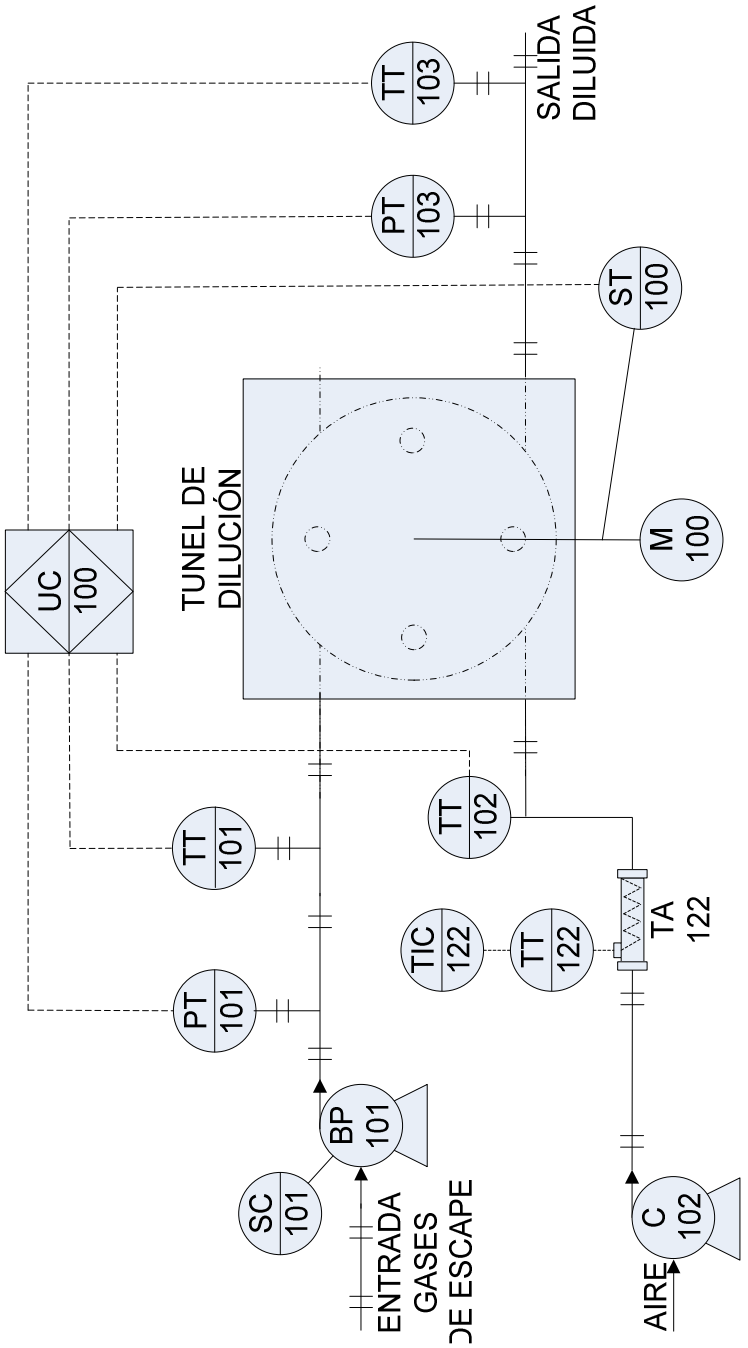


Figura 2.24: Diagrama de control del proceso según norma ANSI/ISA

ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	CARACTERISTICAS	CONTROL
PT 101	Sensor de Presión tipo diafragma	0 a 1 BAR	NO
TT 101	Termocupla tipo K	-270ºC a 1372 ºC	NO
SC 121	Control de velocidad de bomba peristáltica	Parte de la bomba peristáltica	NO
BP 101	Bomba peristáltica	0 a 0,6 gal /min	SI
TT 102	Termocupla tipo K	-270ºC a 1372 ºC	SI
C 102	Compresor de aire	-------	NO
TIC 122	Controlador, indicador de temperatura	COEL HW 4900	SI
TT 122	Termocupla tipo K	-270ºC a 1372 ºC	NO
TA 122	Actuador de temperatura (Resistencia eléctrica)	TEMPCO LDA00023	SI
PT 103	Sensor de Presión tipo diafragma	Rango de 0 – 1 BAR	NO
TT 103	Termocupla tipo K	-270ºC a 1372 ºC	SI
UC 100	Controlador multivariable (Interfaz en LabVIEW)	Computador	SI
ST 100	Sensor de velocidad tipo encoder	30 pulsos / rev	SI
M 100	Motor a pasos	1,8 º por paso	SI

Tabla 2.9: Características de instrumentos del diagrama de control.

3. CAPÍTULO 3

DESARROLLO DEL SOFTWARE E INTERFAZ DE USUARIO

En todo sistema es importante la creación de una interfaz gráfica amigable y funcional que guíe y ayude al operador en todo momento mientras utiliza el programa.

Para este proyecto esta interfaz se la realizó en el programa LabVIEW el cual es un lenguaje de programación de alto nivel, de tipo gráfico, y enfocado al uso en instrumentación, además puede ser usado para elaborar cualquier algoritmo que se desee, en cualquier aplicación, como en análisis, instrumentación, telemática, juegos, manejo de textos, etc.

Para manejar el microcontrolador PIC se usó un puerto de 8 bits entre la tarjeta de adquisición de datos de LabVIEW y el microcontrolador, por este puerto la HMI envía el dato de velocidad, el microcontrolador recibe este dato y genera los pulsos a la velocidad necesitada.

3.1. CONFIGURACIÓN DE LAS DAQ's

Para la elaboración del HMI fue necesario realizar la configuración de las tarjetas de adquisición de datos (DAQ's).

El primer paso para poder configurar las tarjetas de adquisición de datos fue la instalación de cada una de las tarjetas, con el software específico de cada tarjeta, luego de instalar las tarjetas se las probó y configuró en la aplicación Measurement and Automation Explorer de LabVIEW, en esta aplicación se configuraron los puertos que se utilizaron en el proceso los cuales fueron los siguientes:

TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS	PUERTO	NOMBRE	DETALLES
Tarjeta multifunciones NI USB - 6008	Dev1/Ctr0	counter	Contador de eventos
	Dev1/Port0	Paralelo	Puerto de salida digital 8 bits
	Dev1/Portl/line0	BP	Línea de salida digital 1bit
	Dev1/ai3	Presi dife 1	Entrada análoga de 0 - 10 V
	Dev1/ai2	Presi dife 2	Entrada análoga de 0 - 10 V
Modulo de entrada de Termocuplas NI 9211	Dev2/ai0	Temperat 1	Entrada termopar tipo K 15 – 150 ºC
	Dev2/ai1	Temperat 2	Entrada termopar tipo K 15 – 150 ºC
	Dev2/ai2	Temperat 3	Entrada termopar tipo K 15 – 150 ºC

Tabla 3.1: Puertos y nombres utilizados de las tarjetas de adquisición de datos

Una vez configuradas las tarjetas de adquisición de datos y los puertos, se procedió a la elaboración del VI, se los llama Instrumentos Virtuales (VI´s) a los programas realizados en LabVIEW. Un VI está formado de una interface de usuario interactiva que se lo llama Panel Frontal, un diagrama de bloques el cual constituye el código de fuente, e Iconos y conectores que permiten a los VI's ser subvi's llamados de VI's más altos, a continuación se detallaran las partes del VI elaborado.

3.2. PANEL FRONTAL.

El Panel Frontal es la interface del usuario interactiva de un VI, porque simula el tablero de un instrumento físico. El panel frontal puede contener perillas, botones, gráficos, y otros controles e indicadores. El usuario ingresa los datos usando el mouse y/o el teclado, y observa los resultados en la pantalla del computador.

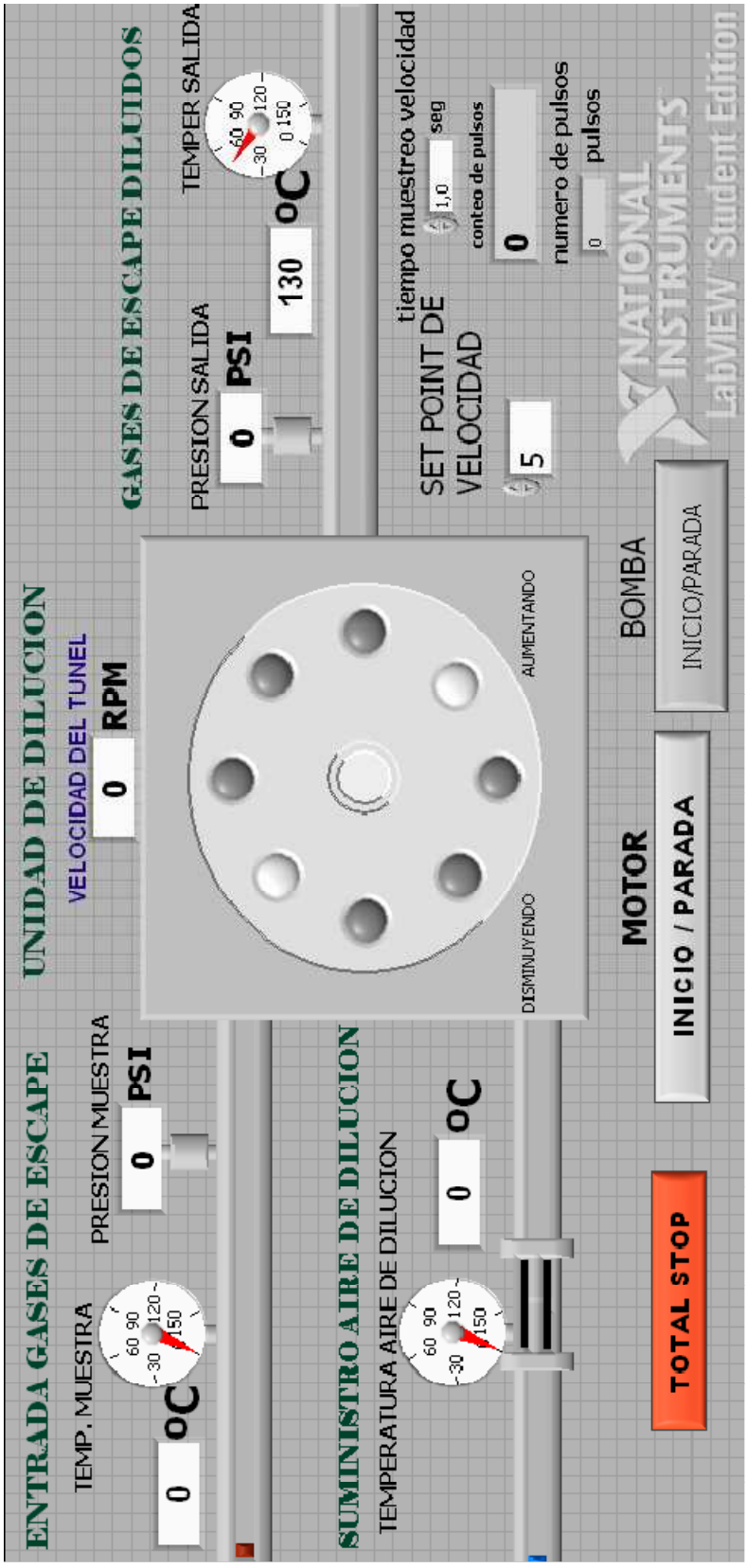


Figura 3.1: Panel Frontal del HMI.

Como se puede observar el panel frontal es una emulación del proceso de dilución con el disco rotativo, que simula el paso de la muestra, el paso del aire de dilución, la salida diluida de la muestra, la operación de la resistencia para calentar fluidos de aire y el movimiento del disco rotatorio.

Se visualizan las medidas de temperatura y presión en la entrada de los gases de escape, la temperatura en el suministro de aire de dilución, la temperatura y presión en la salida diluida de la muestra, también se visualiza la velocidad de giro del disco rotativo y existe el respectivo control numérico para establecer la velocidad de giro del disco rotativo.

Existen dos botones el uno para INICIAR / PARAR el movimiento del disco rotativo que realiza la dilución de la mezcla, y el otro TOTAL STOP para realizar una parada total del proceso.

3.3. DIAGRAMA DE BLOQUES.

Los VI's reciben instrucciones de un Diagrama de Bloques que se desarrolla en lenguaje G. El diagrama de bloques es una solución gráfica a un problema de programación y es también el código de fuente para los VI's [20].

A continuación se detallará todas las partes que conforman el diagrama de bloques del VI desarrollado para el control y monitoreo del túnel de dilución.

3.3.1. MEDICIÓN DE VELOCIDAD DEL MOTOR A PASOS

Para la medición de velocidad se utilizó el siguiente código:

[45] National Instruments; Manual de Usuario

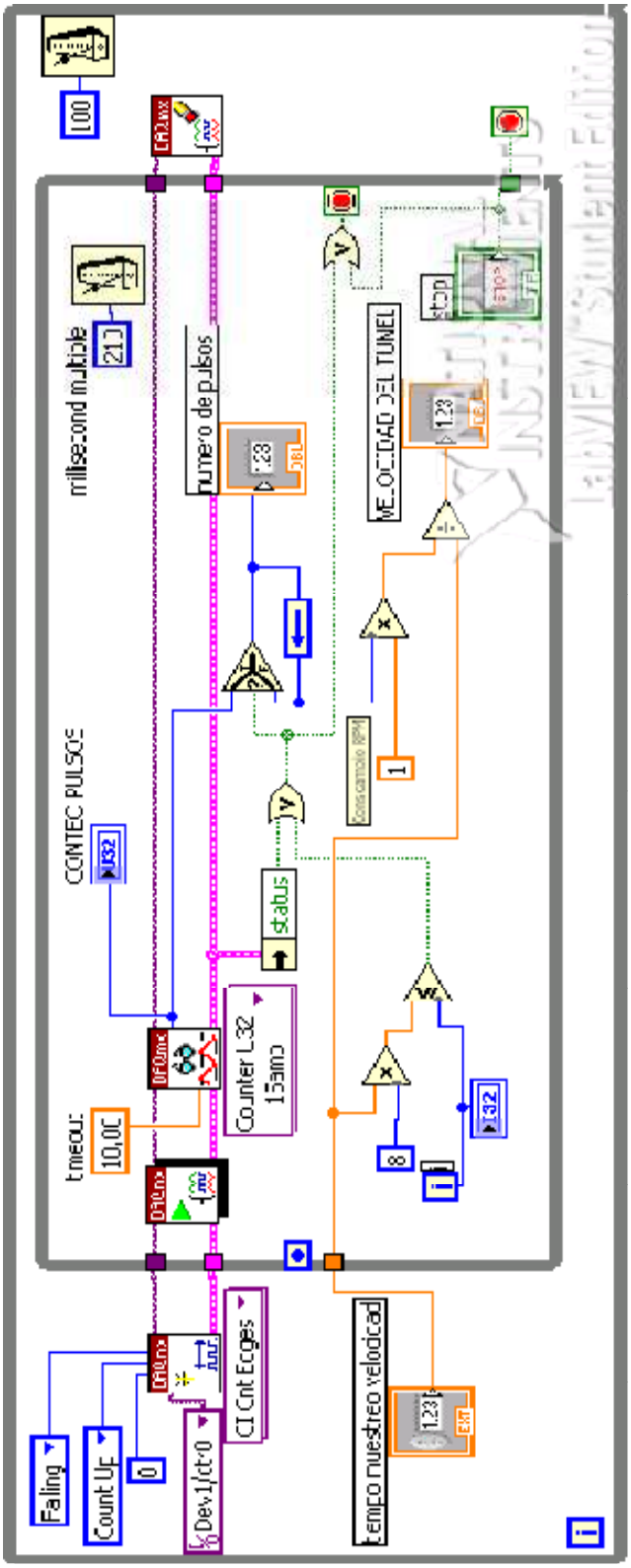


Figura 3.2: Código para medición de velocidad.

Este código permite contar los pulsos que se generan en el encoder en un intervalo de tiempo y los transforma en RPM, ésta es la velocidad a la que gira el disco que realiza la dilución.

3.3.2. MEDICIÓN DE TEMPERATURA Y PRESIÓN

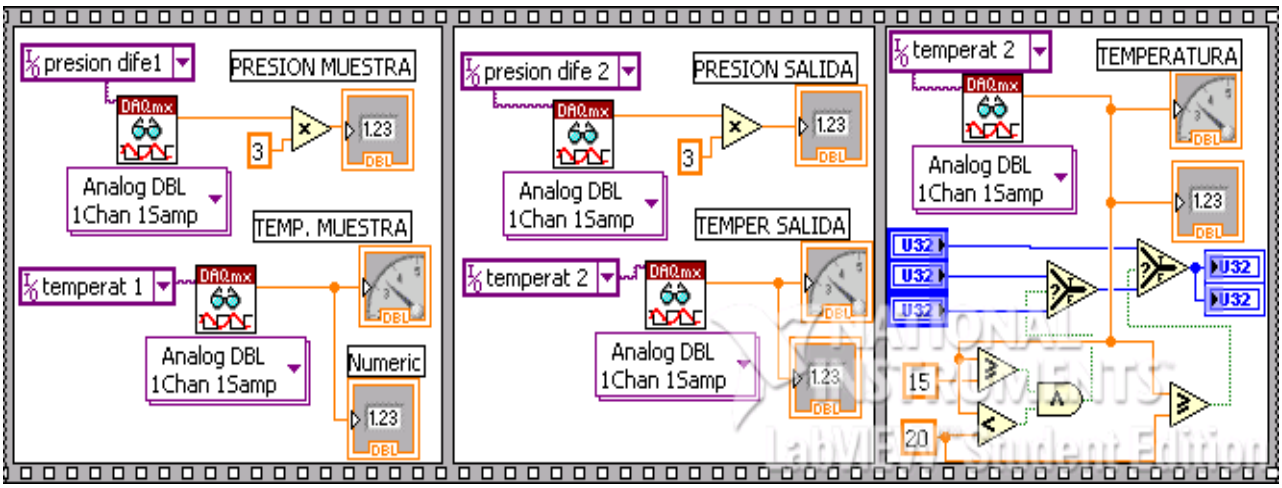


Figura 3.3: Código para medición de temperatura y presión.

Para poder medir la temperatura y presión se utilizó un lazo de secuencia debido a que no pueden funcionar al mismo instante dos puertos análogos de las tarjetas de adquisición de datos.

3.3.3. ALMACENAMIENTO DE DATOS

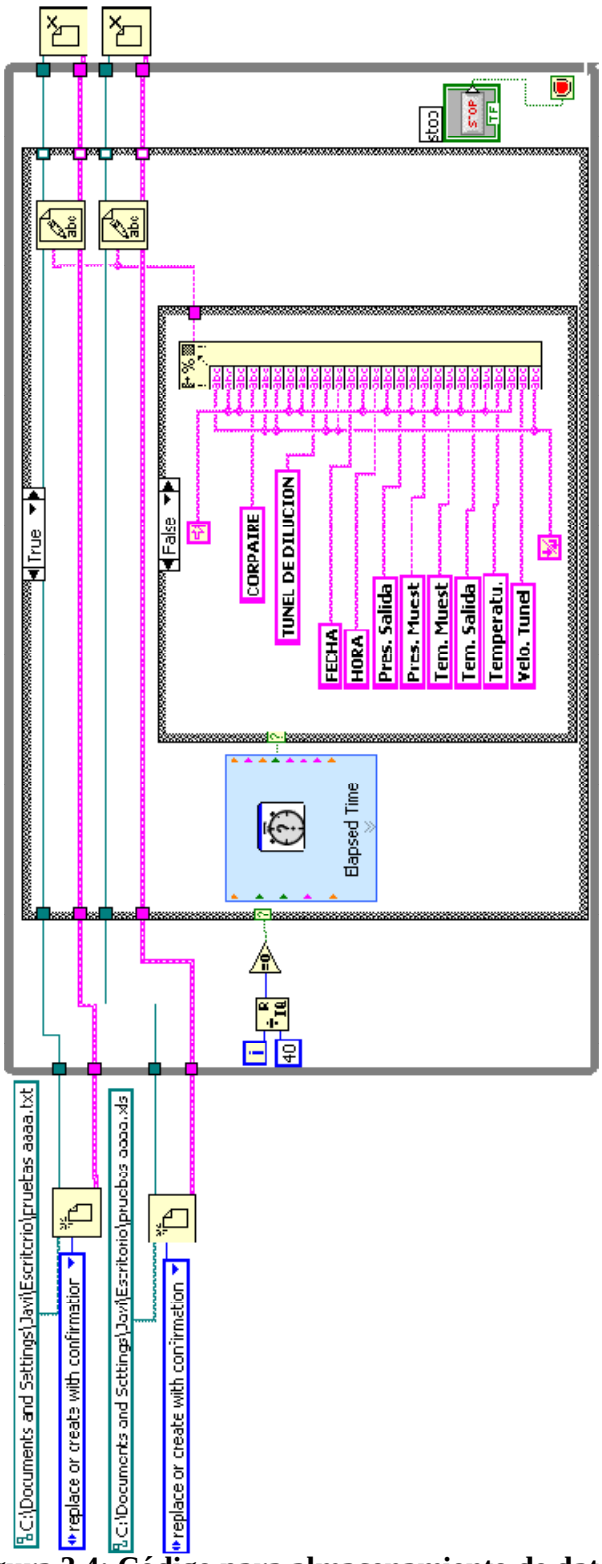


Figura 3.4: Código para almacenamiento de datos.

Estas sentencias de código permite almacenar datos tanto en un archivo de extensión .txt el cual es un documento de texto y en un archivo con extensión .xls que corresponde a una hoja de cálculo de Microsoft Excel. Se crean o remplazan los archivos con nombres ”mediciones” se toman datos cada cierto intervalo de tiempo y se los ingresan en estos archivos y al final del proceso de dilución se guardan y cierran los archivos.

3.3.4. CONTROL DE VELOCIDAD

El control de velocidad se lo hace enviando el dato de velocidad a través de 8 bits, este dato recibe el micro controlador PIC y busca en una tabla los valores a los que tiene que variar las salidas para excitar las bobinas del motor a pasos.

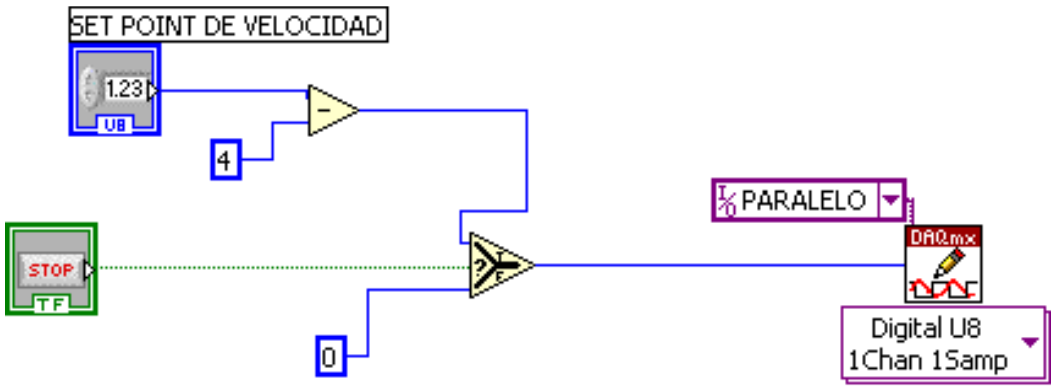


Figura 3.5: Código para controlar la velocidad desde LabVIEW

3.3.5. CONTROL DE LA BOMBA PERISTALTICA

Para controlar la bomba peristáltica se utilizó un control ON – OFF, el cual se lo realizo desde LabVIEW con un botón que se lo usa como switch para prender y apagar la bomba

Figura 3.6: Código para controlar la bomba peristáltica

3.3.6. PARTE GRÁFICA

Para poder simular el movimiento del disco rotatorio que realiza la dilución se utilizaron led's a los cuales se les dio un color blanco cuando se encienden y un color gris cuando están apagados, estos led's se los enciende uno a continuación de otro emulando el movimiento.

La simulación de los fluidos a través de las tuberías se utilizó Slides numéricos para representar el movimiento de los gases.

El código para la visualización es:

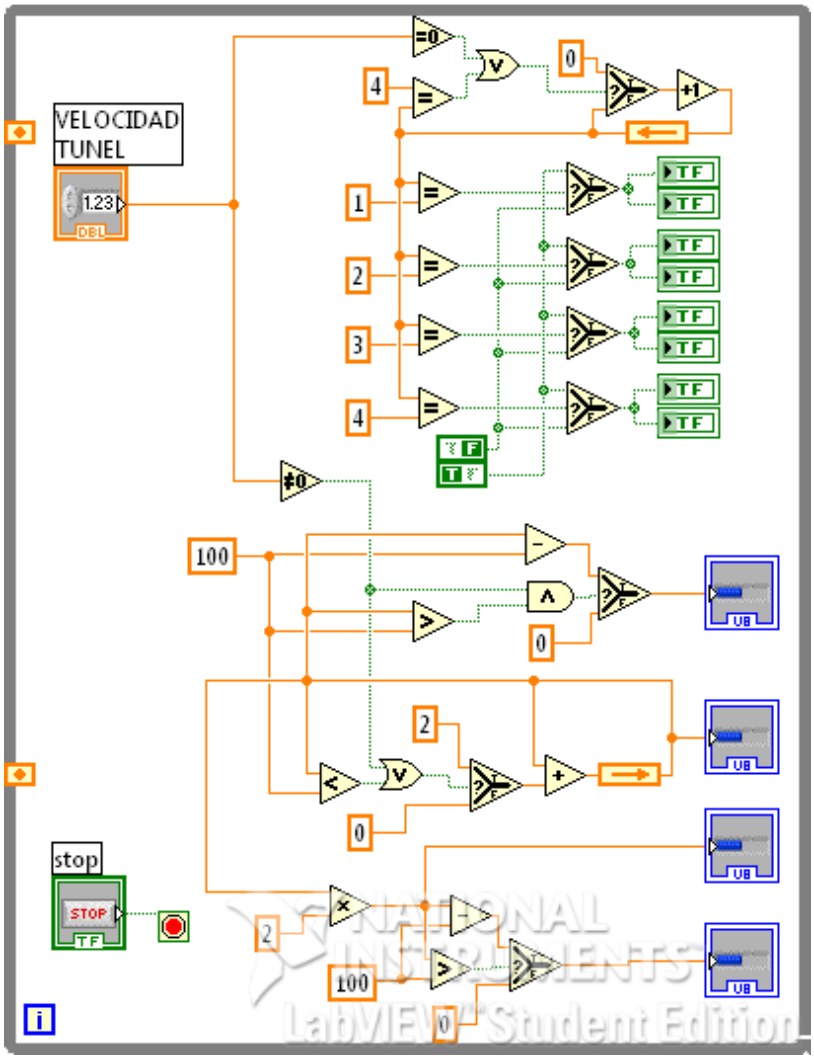


Figura 3.7: Visualización de la parte gráfica del HMI.

3.4. ICONO Y CONECTOR

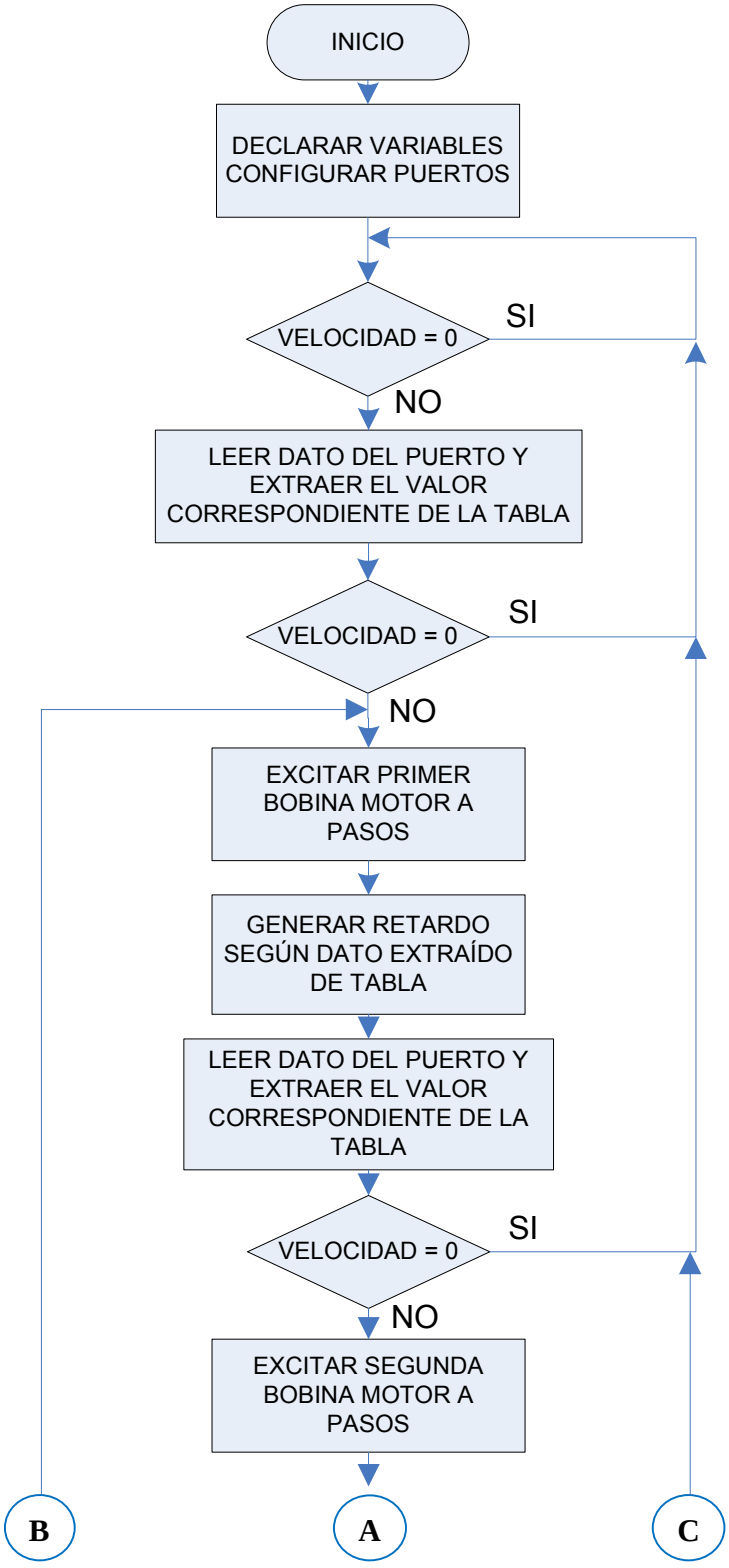
Los VI's son jerárquicos y modulares. Pueden usarse como programas principales, o como subprogramas dentro de otros programas. Un VI dentro de otro VI se llama un sub VI. El Icono y Conector de un VI trabaja como una lista del parámetros gráfica para que otros Vi's puedan pasar datos a un sub VI.

3.5. PROGRAMA EN EL MICROCONTROLADOR PIC 16F873A

Con la tarjeta de adquisición de datos de LabVIEW se obtuvo una velocidad máxima de 15 RPM dado que la velocidad de trabajo de esta tarjeta es de 20 m seg. Por esta razón se empleó un microcontrolador PIC 16F873A para generar los pulsos del motor y obtener una velocidad más alta, con este elemento se logro obtener velocidades de hasta 80 RPM.

El microcontrolador recibe el dato de velocidad a través de la tarjeta de adquisición de datos de LabVIEW por el pórtico B de 8 bits, el PIC busca en tablas el valor de los retardos correspondientes a esta velocidad y genera los pulsos para las cuatro bobinas del motor por los puertos RC4, RC5, RC6, RC7.

Los pórticos RC0, RC1 son utilizados para visualizar el funcionamiento del microcontrolador y de la tarjeta electrónica que contiene al PIC, utilizándolos para encender un led naranja si el microcontrolador inicio correctamente y está listo para generar los pulsos para mover el motor y enciende un led verde si el microcontrolador está generando los pulsos.


INICIO
DECLARAR VARIABLES CONFIGURAR PUERTOS
VELOCIDAD = 0
SI
NO
LEER DATO DEL PUERTO Y EXTRAER EL VALOR CORRESPONDIENTE DE LA TABLA
VELOCIDAD = 0
SI
NO
EXCITAR PRIMER BOBINA MOTOR A PASOS
GENERAR RETARDO SEGÚN DATO EXTRAÍDO DE TABLA
LEER DATO DEL PUERTO Y EXTRAER EL VALOR CORRESPONDIENTE DE LA TABLA
VELOCIDAD = 0
SI
NO
EXCITAR SEGUNDA BOBINA MOTOR A PASOS
B
A
C

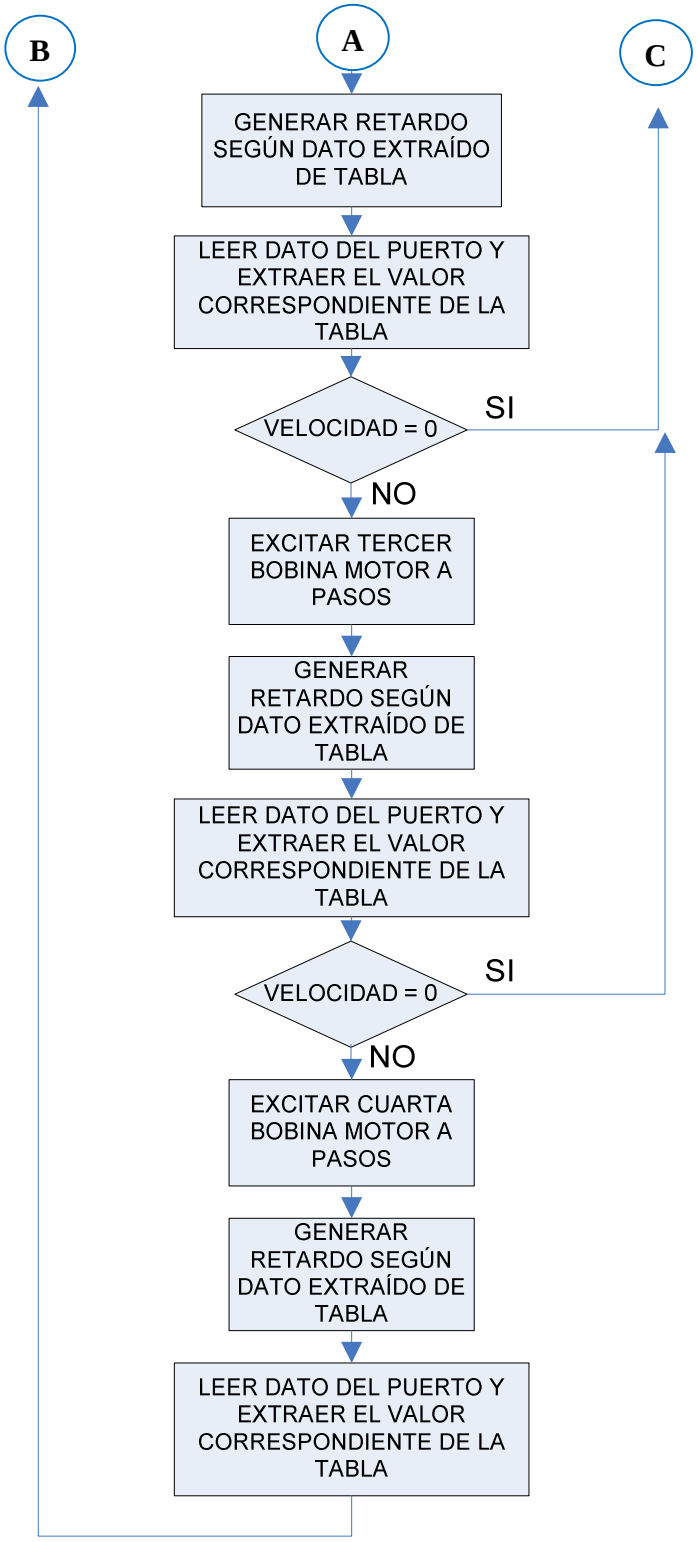


Figura 3.8: Diagrama de flujo que representa el funcionamiento del PIC.

3.6. INSTALACIÓN Y OPERACIÓN

3.6.1. INSTALACIÓN

Se debe instalar el programa LabVIEW siguiendo los pasos y las instrucciones de instalación que se producen al insertar el CD de instalación, no olvidar que el computador debe tener conexión a internet en el momento de la instalación.

Luego de instalado LabVIEW se deben instalar las tarjetas de adquisición de datos, para esto se conectan las tarjetas de adquisición de datos y se coloca el CD de instalación de las tarjetas de adquisición de datos.

Al conectar las tarjetas el sistema operativo abre el asistente para hardware nuevo encontrado, en este se escoge la opción utilizar disco de instalación y se lo direcciona a la unidad de CD ROOM.

Una vez instaladas las tarjetas de adquisición de datos se crean las variables en las respectivas tarjetas, con las respectivas especificaciones y en los respectivos puertos como se indico en la TABLA 3.1.

3.6.2. OPERACIÓN

Para poder utilizar la HMI se deben conectar las dos tarjetas de adquisición de datos al computador con sus respectivos cables USB.

Se debe abrir el archivo de LabVIEW llamado TUNEL DE DILUCION, a este archivo se lo corre haciendo click en el botón para ejecutar el programa en la barra de herramientas del Panel Frontal.

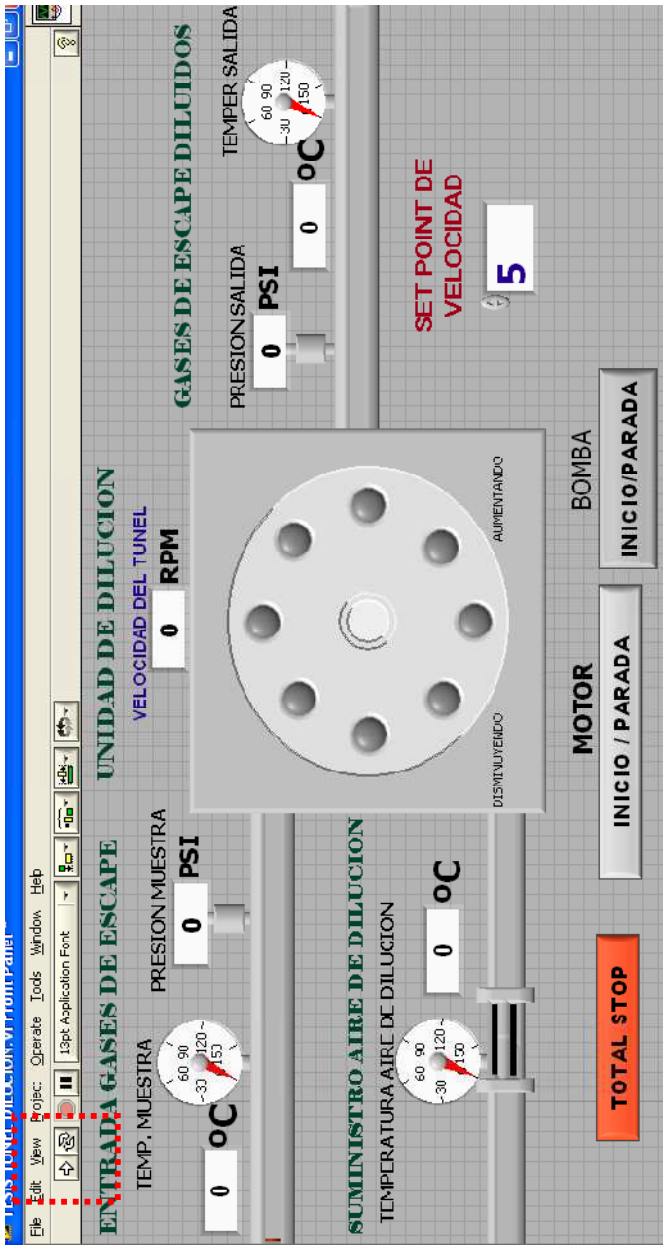


Figura 3.9: Ejecución del HMI

El siguiente paso es conectar el compresor y abrir la válvula de aire hasta obtener el flujo deseado.

Figura 3.10: Conexión del compresor y seteo del flujo.

Para poder poner en funcionamiento el proceso se debe prender la fuente de alimentación, esto se lo hace desde la parte superior derecha del mueble que contiene el equipo, donde se indica en la siguiente figura.

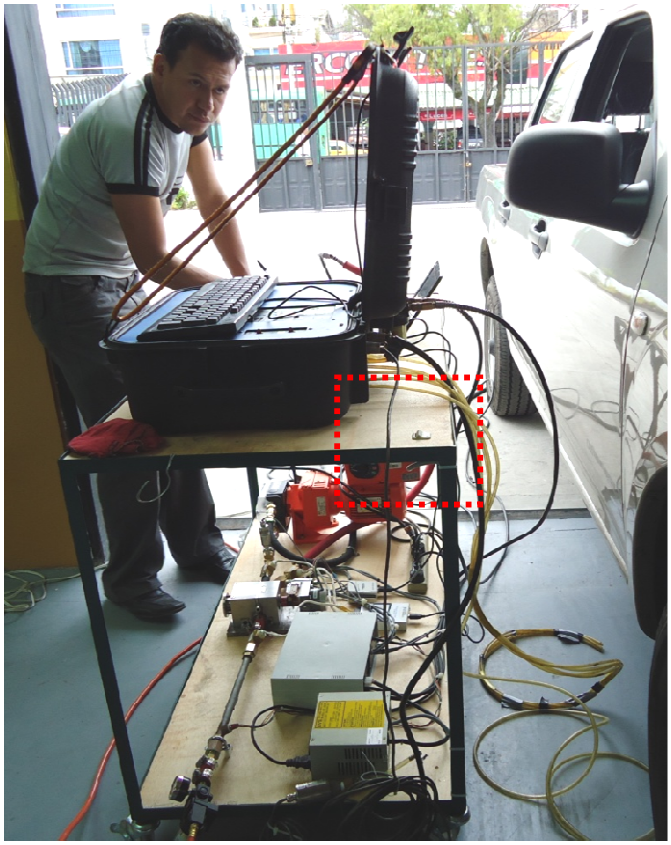


Figura 3.11: Encendido de fuente de alimentación.

El flujo de gas a diluir se lo setea con la velocidad de la bomba peristáltica que se lo hace directamente en la bomba con la perilla.

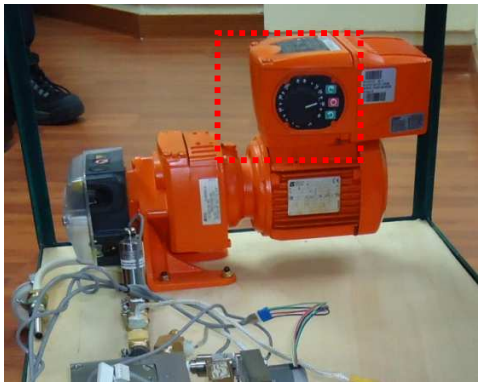


Figura 3.12: Seteo de flujo de dilución.

La bomba se la prende y se la apaga haciendo click en el botón BOMBA INICIO/PARADA del HMI

Figura 3.13: Encendido de bomba.

Para poner a girar al túnel de dilución se setea la velocidad a la que se desea que gire el túnel de dilución y se hace click en el botón MOTOR INICIO/PARADA.

Figura 3.14: Encendido de túnel de dilución.

Para detener la HMI se lo puede hacer de dos maneras la una dando un click en el botón TOTAL STOP del HMI o haciendo click en el botón de parada de la barra de herramientas del Panel Frontal.

Figura 3.15: Detención del HMI

4. CAPÍTULO 4

PRUEBAS REALIZADAS EN EL SISTEMA

Se realizaron diferentes tipos de pruebas para evaluar el funcionamiento de todo el sistema, es decir, control de temperatura, control de velocidad del túnel de dilución, medición de presión y temperatura, control de la bomba peristáltica y la HMI desarrollado.

Estas pruebas fueron realizadas primero con cada uno de los elementos por separado, luego se realizaron dos pruebas de todo el sistema en conjunto, logrando comprobar el correcto funcionamiento del proyecto.

4.1. PRUEBAS CON EL CONTROL DE TEMPERATURA

Se comprobó el funcionamiento del control de temperatura haciendo pasar diferentes flujos de aire a través de la resistencia y midiendo la temperatura de salida del aire.

Para el cálculo del error se empleó un multímetro marca Fluke con su termocupla, se seteó en 100ºC el controlador de temperatura, tomando datos cada 5 minutos obteniendo los resultados presentados en la siguiente tabla:

Ti	*Datos*
t1	96,9
t2	97,8
t3	98,8
t4	98,3
t5	100,6
t6	101,7
t7	99,8
t8	99,7
t9	100,2
t10	98,6
t11	99,2
t12	99,6
t13	100,8
t14	98,6
t15	101,2

Tabla 4.1: Mediciones de temperatura, seteado el control en 100ºC

El cálculo del error se lo realizo de la siguiente manera:

$$\boldsymbol{error = \bar{t} - Tseteada}$$

En donde

$$\boldsymbol{\bar{t} = \frac{\sum_{i=1}^{n}(ti)}{n} = 99,45}$$

$$\boldsymbol{error = 99,45 - 100 = -0,55}\ ℃$$

Al realizar estas pruebas se demostró que la temperatura del aire, se estabiliza en el valor seteado, con un error de 0,55 ºC, probando de esta manera que la resistencia y el control de temperatura funcionan correctamente.

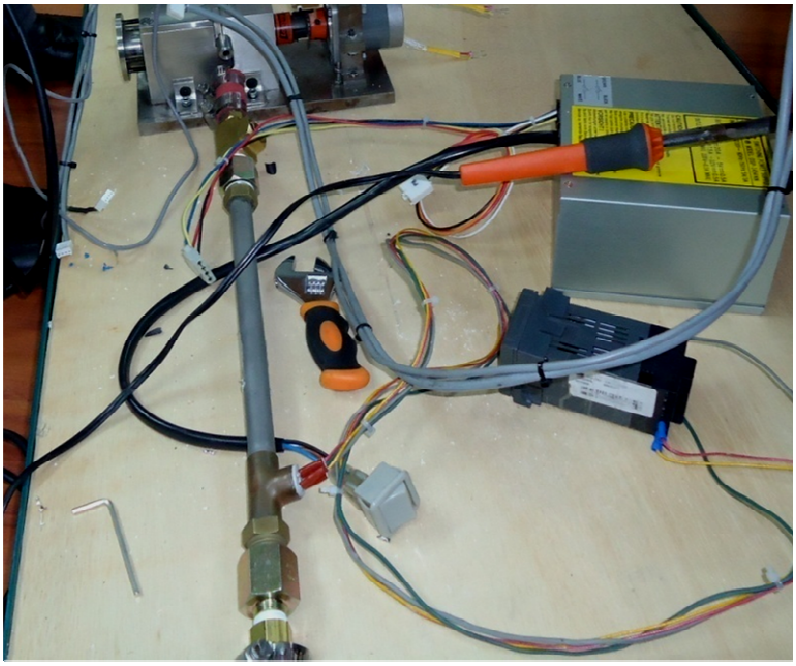


Figura 4.1: Pruebas realizadas con el control de temperatura.

4.2. PRUEBAS CON LA ESTABILIZACIÓN DE VELOCIDAD DEL TUNEL

Las pruebas realizadas con el control de velocidad del túnel de dilución ayudaron a establecer el mejor control para la velocidad, ya que al principio se utilizó dos entradas del micro controlador para recibir los datos del HMI y saber si la velocidad era mayor o menor a la establecida, pero se tubo el inconveniente que el tiempo de estabilización era demasiado grande y tendía a ser un sistema oscilante.

Por esta razón se decidió cambiar el control utilizando en este caso un puerto de 8 entradas del microcontrolador para recibir el dato de velocidad del HMI de LabVIEW, con este dato el microcontrolador saca de tablas los retardos necesarios para girar el motor a pasos a la velocidad establecida, Los valores de las tablas se los consiguió

mediante ensayos y pruebas realizadas, con este tipo de control se soluciono el problema de la estabilización de la velocidad.

En este caso para el cálculo del error se empleó un tacómetro, se seteó en 20 RPM el control de velocidad, se tomaron datos cada 5 minutos obteniendo los siguientes resultados:

Vi	*Datos*
v1	19,98
v2	19,91
v3	21,45
v4	19,9
v5	21,5
v6	19,92
v7	20,04
v8	21,14
v9	20,08
v10	19,96
v11	21,12
v12	19,94
v13	20,06
v14	19,92
v15	19,97

Tabla 4.2: Mediciones de velocidad, seteado el control en 20 RPM

El cálculo del error se lo realizo de la siguiente manera:

$$\boldsymbol{error = \overline{v} - Vseteada}$$

En donde

$$\boldsymbol{\overline{v} = \frac{\sum_{i=1}^{n}(vi)}{n} = 20,33}$$

$$\boldsymbol{error = 20,33 - 20 = \ 0,33}\ \text{RPM}$$

Como se pudo observar la velocidad a la que gira el disco del túnel de dilución es muy cercana a la seteada con un error de 0,33 RPM

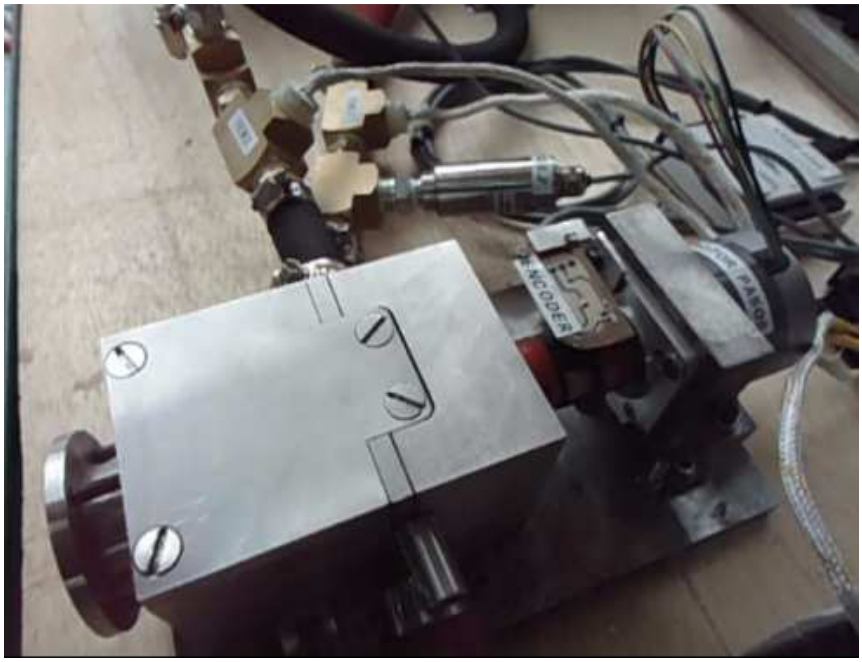


Figura 4.2: Pruebas realizadas con el control de velocidad del túnel de dilución.

4.3. PRUEBAS CON EL CONTROL DE LA BOMBA PERISTÁLTICA

Con la bomba peristáltica se hicieron pruebas para comprobar el encendido de la bomba desde la interfaz realizada en LabVIEW y pruebas para probar la variación de velocidad con el control que viene incorporado en este equipo.

Con esta prueba se comprobó que la bomba, la interfaz que realiza el control, y el variador que viene incluido en este elemento funcionan correctamente.

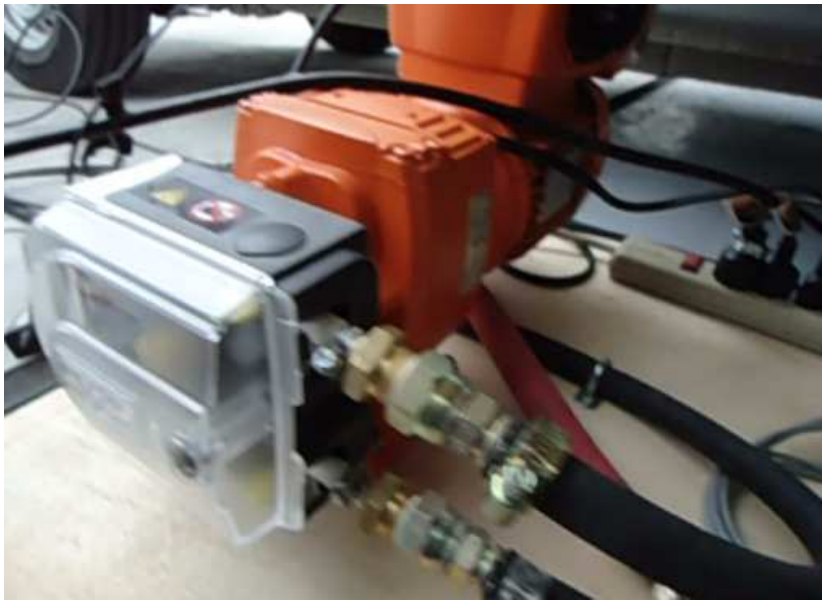


Figura 4.3: Pruebas realizadas con la bomba peristáltica.

Figura 4.4: Control de velocidad de la bomba peristáltica.

4.4. PRUEBAS CON LA INTERFAZ

Además se hicieron pruebas en el interfaz comprobando que los sensores median correctamente, se podía prender y apagar desde la interfaz la bomba peristáltica y se podía controlar la velocidad del motor a pasos.

Figura 4.5: Control de velocidad de la bomba peristáltica.

4.5. PRUEBAS DE TODO EL SISTEMA

Se realizó pruebas y verificación del funcionamiento de todo el sistema con la ayuda de los Ingenieros de CORPAIRE Alex Guzmán y Jorge Kaslin, estas pruebas se las hizo con un equipo de medida llamado MONTANA midiendo las emisiones generadas por una camioneta CHEVROLET LUV DMAX, pudiendo comprobarse el correcto funcionamiento del sistema y que el equipo logra diluir la mezcla como se esperaba, estas pruebas se las realizó en las instalaciones del CCICEV de la Escuela Politécnica Nacional.

Figura 4.6: Pruebas de todo el sistema.

Figura 4.7: Equipo de medición de emisiones vehiculares MONTANA, utilizado para las pruebas del sistema..

Figura 4.8: Pruebas del sistema en las instalaciones del CCICEV de la EPN.

Hora	NOx[ppm]	HC[ppm]	CO[%]	CO2[%]	O2[%]	PM[mg/m3]
11:09:40	102	57	0.176	2.63	18.9	1.396
11:09:41	103	57	0.175	2.64	18.95	1.365
11:09:42	104	56	0.174	2.64	18.9	1.449
11:09:43	104	56	0.174	2.64	18.95	1.449
11:09:44	104	56	0.173	2.64	19	1.339
11:09:45	104	56	0.172	2.64	18.85	1.352
11:09:46	105	56	0.172	2.64	18.95	1.231
11:09:47	107	56	0.171	2.64	19	1.179
11:09:48	108	55	0.17	2.64	18.9	1.179
11:09:49	108	55	0.169	2.64	18.9	1.197
11:09:50	109	55	0.169	2.64	18.9	1.11
11:09:51	110	55	0.168	2.64	18.95	1.004
11:09:52	110	55	0.167	2.64	19	1.004
11:09:53	110	55	0.166	2.64	18.95	1.048
11:09:54	111	55	0.166	2.63	18.85	0.988
11:09:55	111	55	0.164	2.63	18.9	0.962
11:09:56	111	55	0.163	2.64	18.95	0.969
11:09:57	111	55	0.163	2.64	19	0.925
11:09:58	112	55	0.161	2.64	19.05	0.925
11:09:59	114	55	0.16	2.63	18.95	0.908
11:10:00	114	55	0.16	2.62	18.85	0.906

11:10:01	114	55	0.159	2.62	18.85	0.906
11:10:02	113	55	0.158	2.62	18.9	0.776
11:10:03	112	55	0.158	2.62	18.95	0.776
11:10:04	114	54	0.157	2.62	19.05	0.804
11:10:05	114	54	0.157	2.62	19	0.759
11:10:06	113	54	0.155	2.62	18.9	0.768
11:10:07	113	54	0.155	2.62	18.9	0.723
11:10:08	113	54	0.155	2.62	18.9	0.723
11:10:09	113	53	0.154	2.62	19	0.759
11:10:10	113	53	0.154	2.62	19	0.765
11:10:11	114	53	0.153	2.62	18.95	0.752
11:10:12	115	53	0.152	2.62	18.9	0.752
11:10:13	115	53	0.152	2.62	19	0.77
11:10:14	116	53	0.152	2.63	19	0.682
11:10:15	116	53	0.151	2.64	18.95	0.65
11:10:16	117	53	0.15	2.63	18.85	0.65
11:10:17	117	53	0.15	2.63	18.9	0.705
11:10:18	119	53	0.149	2.62	19	0.754
11:10:19	118	53	0.149	2.62	18.9	0.693
11:10:20	119	52	0.148	2.62	19	0.753
11:10:21	120	52	0.148	2.62	18.95	0.728
11:10:22	121	52	0.146	2.63	18.95	0.728
11:10:23	122	51	0.146	2.63	18.9	0.671

Tabla 4.3: Resultados de la prueba a 2500 RPM realizada al vehículo sin diluir la muestra

Hora	NOx[ppm]	HC[ppm]	CO[%]	CO2[%]	O2[%]	PM[mg/m3]
12:26:46	49	9	0,016	0,58	20,05	0,049
12:26:47	50	9	0,016	0,58	20,1	0,088
12:26:48	50	9	0,017	0,59	20,05	0,088
12:26:49	50	9	0,017	0,59	20	0,046
12:26:50	53	9	0,017	0,6	20	0
12:26:51	65	9	0,017	0,76	19,8	0,082
12:26:52	73	9	0,018	0,89	19,7	0,032
12:26:53	68	9	0,021	1,01	19,65	0,032
12:26:54	56	9	0,023	1,02	19,7	0,022
12:26:55	45	9	0,025	1,02	19,7	0
12:26:56	39	9	0,027	1,02	19,7	0
12:26:57	37	9	0,03	1,04	19,6	0,091
12:26:58	36	9	0,032	1,03	19,6	0,091

12:26:59	35	10	0,033	1,03	19,65	0,135
12:27:00	34	10	0,035	1,02	19,65	0
12:27:01	35	10	0,037	1,02	19,6	0
12:27:02	36	10	0,038	1,02	19,7	0,065
12:27:03	36	10	0,039	1,02	19,7	0,065
12:27:04	37	10	0,04	1	19,7	0,031
12:27:05	37	10	0,041	1	19,7	0,031
12:27:06	37	11	0,043	1	19,7	0
12:27:07	37	11	0,043	0,99	19,7	0
12:27:08	37	11	0,044	0,99	19,7	0,034
12:27:09	37	11	0,045	0,99	19,7	0,011
12:27:10	37	11	0,045	0,99	19,7	0
12:27:11	37	12	0,046	0,99	19,7	0
12:27:12	37	12	0,046	0,99	19,7	0,083
12:27:13	36	12	0,046	0,99	19,75	0,083
12:27:14	34	12	0,047	0,99	19,8	0,099
12:27:15	33	12	0,047	0,98	19,9	0,099
12:27:16	31	12	0,047	0,98	19,9	0,053
12:27:17	31	13	0,047	0,97	19,8	0
12:27:18	32	13	0,047	0,95	19,8	0
12:27:19	31	14	0,048	0,95	19,85	0,05
12:27:20	32	14	0,047	0,94	19,85	0,045
12:27:21	32	14	0,046	0,93	19,8	0
12:27:22	31	14	0,046	0,93	19,75	0
12:27:23	31	14	0,046	0,91	19,8	0,071
12:27:24	32	14	0,046	0,91	19,85	0,071
12:27:25	31	14	0,046	0,91	19,9	0,052
12:27:26	32	14	0,046	0,9	19,95	0
12:27:27	32	14	0,046	0,89	19,9	0
12:27:28	33	15	0,046	0,89	19,85	0,069
12:27:29	32	15	0,046	0,89	19,8	0

Tabla 4.4: Resultados de la prueba a 2500 RPM, realizada diluyendo la muestra

Revisando los resultados se evidenció que el equipo realizó la dilución de la muestra ya que las concentraciones de los diferentes contaminantes es menor a la tomada directamente del vehículo, comprobando así el correcto funcionamiento de este.

5. CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- El objetivo de la tesis se cumplió en su totalidad ya que se diseñó e implementó el sistema de control automático del túnel de dilución con interfaz a un computador para las estaciones de control de emisiones de vehículos a diesel.

- El túnel de dilución fue diseñado para ser utilizado con el equipo de medición llamado PAS 2000, este equipo en la actualidad ya no se lo usa por ser obsoleto, pero gracias a la versatilidad del túnel de dilución se lo puede utilizar con cualquier equipo de medición como se lo comprobó en las pruebas utilizando el equipo MONTANA.

- Este equipo será utilizado por CORPAIRE para desarrollar estudios de nuevas tecnologías que permitan la reducción de contaminantes en las emisiones vehiculares, por ejemplo se pretende comprobar una nueva teoría que dice que al inyectar aire al múltiplo de salida se reducen los contaminantes en las emisiones ya que se logra una combustión más completa, este efecto se lo podría simular con el sistema de dilución y comprobar esta teoría.

- Mediante las pruebas realizadas en conjunto con los Ingenieros de CORPAIRE se pudo comprobar el correcto funcionamiento realizando el equipo la dilución de los gases de escape del vehículo.

- El aire de dilución se encuentra seteado a una temperatura de 150ºC pero se lo puede cambiar variando el set point del control de temperatura, si se lo necesita.

- El rango de velocidad de giro del túnel de dilución es de 5 a 70 RPM, lo cual permite obtener un amplio campo de dilución.

- Se concluye que para un correcto funcionamiento del proceso se deben seguir los pasos de operación descritos en el ANEXO A del presente trabajo.

- Si fuese necesario un flujo mayor al que proporciona actualmente la bomba peristáltica, es necesario obtener con el fabricante una manguera que permita circular un mayor caudal de aire.

5.2. RECOMENDACIONES

- Es recomendable realizar los ensayos experimentales necesarios para determinar el rango de dilución del equipo.

- Se recomienda que el aire para la dilución debe ser tratado eliminando impurezas y humedad tratando que las condiciones sean lo más similares posibles en cada secuencia de medida.

- Se sugiere instalar sensores de flujo para poder setear con mayor precisión y facilidad los caudales tanto de gas de escape y de aire para dilución.

- Es recomendable hacer una limpieza periódica de los componentes que están en contacto con el gas de escape para evitar que las partículas se depositen en las paredes y alteren las mediciones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abad H., 2007, “Contaminación Ambiental”, Abril, 2008, http://www.elmercurio.com./ titulares/diasnoticias/contaminación ambiental/2007.04-20,

- Agencia de protección medioambiental EPA, 2000, “Método 5: Determinación de emisiones de material particulado desde fuentes estacionarias”, Febrero 2008, http://epa.gov/ttn/emc/promgate/m-05.pdf,

- Alonso J. M., Técnicas del Automóvil, Motores, Novena Edición; Editorial Paraninfo; España; 1999, pp. 12 - 36

- Antecedentes de los principales Contaminantes Atmosfericos, 2006, http://200.68.10.178/chile/docs/protocolos/ANEXOS%20C%20(0.1%20MB).pdf

- Autocity Networks, S. A., Emisiones motor Diesel, http://www_org.autocity.com/Emisiones%20motor%20Diesel%20I.%20Documentos%20T%C3%A9cnicos,%20manuales%20de%20reparaci%C3%B3n.htm

- Ayers M., 2001, “Teoría Básica de la Contaminación del aire”, en Alley Roberts & Associates, “Manual de Control de la Calidad del Aire”, 1era. edición, Editorial McGraw-Hill, México, D.F., pp. 2,3 – 2,8.

- Bosch, Manual de la Técnica del Automóvil, Tercera Edición, Editorial Reverte, Barcelona, 1999, pp. 8 - 30

- Carol Urzúa, Extractos de la 7a. Conferencia ETH en Combustión Generadora de Nanopartículas, Zurich, Agosto 2003, Chile, Tecnología Automotriz Limpia, Santiago Chile, http://talsa.cl/mp.pdf

- Descripción de Métodos de Medición; Anexo B; http://200.68.10.178/chile/docs/protocolos/ANEXO%20B%20(0.2%20MB).pdf

- Espert V., 2004, “Dispersión de Contaminantes en la atmósfera”, Alfaomega, Toluca, México, pp. 23, 45, 56-60.

- Esquivel J. y Delgado L., 1989, “Contaminantes primarios de la atmósfera, temperatura del aire y enfermedades respiratorias”, Revista Cubana, p.12.

- Grimalt J., 1997, “Los efectos de los Contaminantes Orgánicos persistentes en humanos. Estrategias de estudio deseables”, http://www.matriz.net/caps2/quadern/29/5capsgrimalt.pdf, (Septiembre, 2008).

- Heynke y Glynn., 1980, “Manual de la calidad del aire en el medio urbano”, Washington, D.C. 1980, p 7.

- Johnston P., 1994, “Respirar aire contaminado puede ser tan malo para usted como vivir con un fumador", revista Science, Vol. 295, No 5562.

- Macarena Alvarado, Emisiones de Material Particulado en motores de Combustión Interna Ciclo Diesel, Universidad de Chile, 2001, http://cabierta.uchile.cl/revista/22/articulos/pdf/rev4.pdf

- Ministerio de Medio Ambiente de la República del Ecuador, 2000, “Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria (TULAS)”, 1era. edición, Quito, Ecuador, pp. 379 – 380.

- Molina F., 1990, “Muestreo Isocinético de Material Particulado”, Colombia, Medellín, p. 45.

- Moreno M., 2.003, “Toxicología Ambiental. Evaluación de riesgo para la salud”, Editorial McGraw-Hill, España, pp. 32, 203-206, 214-220, 223-229, 310-320

- Motores Diesel y Turbo Diesel; 2006, http://www.clubvwpolo.es/modules/newbb/viewtopic.php?viewmode=flat&type=&topic_id=1177&forum=5

- National Instruments, User Manual.

- National Instruments, User guide and specificacion, USB 6008/ USB 6009 http://sine.ni.com/

- Nevers N., 1998, “Ingeniería de Control de la Contaminación del Aire”, 1era. edición, Editorial McGraw-Hill, México, pp. 41 – 66.

- Paulina A. Cortés, Teoría y Desarrollo de un Sistema de Dilución para la Medición de Emisiones de Motores Diesel, Proyecto Previo a la Obtención del Título de Ingeniería Mecánica EPN, Quito Noviembre 2008.

- Ralbousky E., Motores Diesel, Editorial Paraninfo, Madrid España, 2000.

- Revista de Ingeniería; Bogotá 2004; Revisión de las emisiones de material particulado por la combustión de diesel y biodiesel; Néstor Y. Rojas; Departamento de Ingeniería Química, Universidad de Los Andes http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0121-49932004000200007&script=sci_arttext

- Sandoval E., Prendez D. y Ulriksen C., 1993, “Contaminación Atmosférica de Santiago. Estado actual y soluciones”, Cabo de Hornos S.A, Chile, pp. 27, 87, 91, 111, 141- 181.

- Seoáñez M., 2.002, “Tratado de la Contaminación Atmosférica” Editorial Mundi- Prensa, Madrid- Barcelona, España, pp. 87,153, 619-673.

- Strauss M. y Mainwaring D., 1.900, “Manual de control de la calidad del aire”, McGraw-Hill, México, pp. 21-35.

- Vega de Kuyper J., 2002, “Química del Medio Ambiente y de los Recursos Naturales”, 1era. edición, Ediciones Universidades Católica, Santiago de Chile, Chile, pp. 89 – 103, 107 – 195.

- Wark K. y Warner C., 2002, “Contaminación del Aire”, Editorial Limusa, décima edición, México, D.F., p. 22-30.

- Xavier Querol Carceller, “El Material Paticulado Atmosférico”, Congreso Nacional del Medio Ambiente, http://www.conama8.org/modulodocumentos/documentos/AEs/AE9/AE9_doc_XavierQuerol.pdf

ANEXOS:

- **ANEXO A:** DATASHEET CONTROL DE TEMPERATURA " COEL HW4900 "

- **ANEXO B:** CATALOGO CALENTADOR TUBULAR EN LINEA PARA PROCESOS DE AIRE " TEMPCO "

- **ANEXO C:** DATASHEET TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS DE LABVIEW NI USB - 6008.

- **ANEXO D:** DATASHEET TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS DE LABVIEW NI 9211.

ANEXO A:

DATASHEET CONTROL DE TEMPERATURA “ COEL HW4900 ”

ANEXO B:

CATALOGO CALENTADOR TUBULAR EN LINEA PARA PROCESOS DE AIRE “ TEMPCO ”

ANEXO C:

DATASHEET TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS DE LABVIEW NI USB - 6008.

ANEXO D:

DATASHEET TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS DE LABVIEW NI 9211.