

Universidad Católica de Santa María

Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales

Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica



**“MONITOREO, EVALUACION Y CONTROL DE LAS VARIABLES ASOCIADAS
AL BIOMETANO PRESURIZADO A FIN DE LOGRAR SU USO OPTIMO EN UN
MOTOR DE COMBUSTION INTERNA”**

Tesis presentada por el Bachiller:

Córdova Gonzales Juan José

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero Mecatrónico

Asesores:

Mestas Ramos, Sergio

Castro Valdivia, Jorge

AREQUIPA – PERÚ

2018

Universidad Católica de Santa María

☎ (51 54) 382038 Fax: (51 54) 251213 ✉ ucsm@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe Apartado: 1350

PERU

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECÁNICA
ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA**

INFORME DICTAMINATORIO

VISTO

EL BORRADOR DE TESIS TITULADO:

**“MONITOREO EVALUACIÓN Y CONTROL DE
LAS VARIABLES ASOCIADAS AL BIOMETANO
PRESURIZADO A FIN DE LOGRAR SU USO
OPTIMO EN UN MOTOR DE COMBUSTION
INTERNA DE GRUPO ELECTROGENO
ESTACIONARIO Y UN TRACTOR AGRICOLA”**

Presentado por el Bachiller:

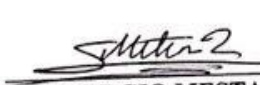
CORDOVA GONZALES, Juan José

Nuestro DICTAMEN es:

Favorable

OBSERVACIONES: No se ha implementado en motor de grupo electrógeno
y en motor de tractor agrícola por ser de control mecánico. Por tanto el
título debe quedar "Monitoreo Evaluación y Control de las variables
asociadas al biometano presurizado a fin de lograr su uso óptimo en un
motor de combustión interna.

Arequipa, 16 de abril 2013


ING. SERGIO MESTAS RAMOS


ING. JORGE CASTRO-VALDIVIA



Universidad Católica de Santa María

(51 54) 382038 Fax: (51 54) 251213 ✉ ucsm@ucsm.edu.pe <http://www.ucsm.edu.pe>



"IN SCIENTIA ET FIDE EST FORTITUDO NOSTRA"
(En la ciencia y en la fe está nuestra fortaleza)

SE EXPRESA EL RECONOCIMIENTO Y FELICITACION INSTITUCIONAL AL EQUIPO INVESTIGADOR QUE TUVO A SU CARGO EL PROYECTO: "PRODUCCION Y USO DE BIOMETANO PRESURIZADO COMO SUSTITUTO DE COMBUSTIBLES FOSILES EN EL SECTOR AGRICOLA" – PNIA.-

RESOLUCION No. 6663 -CU-2018

Arequipa, 2018 abril 04



Visto el Of. No. 338-2018-VRINV mediante el cual el Sr. Vice Rector de Investigación solicita se emita Resolución de felicitación al Equipo Investigador que tuvo a su cargo el proyecto: "Producción y Uso de Biometano Presurizado como sustituto de Combustibles Fósiles en el Sector Agrícola" – PNIA;

CONSIDERANDO:

Que, mediante Resolución No. 22877-R-2016 de fecha 04-02-2016 se aprobó el contrato de adjudicación de recursos no reembolsables del Programa Nacional de Innovación Agraria para la ejecución del Proyecto: Producción y Uso de Biometano Presurizado como sustituto de Combustibles Fósiles en el Sector Agrícola celebrado entre el Programa Nacional de Innovación Agraria – PNIA del Instituto Nacional de Innovación Agraria – INIA y la UCSM;



Que, el mencionado proyecto ha sido desarrollado en alianza con Biogas Development & Training Center New Delhi, India y el Instituto de Investigación y Desarrollo para el Sur con el apoyo económico del Programa Nacional de Innovación Agraria – PNIA y el Vice Rectorado de Investigación de la UCSM, proyecto que ha permitido hacer la demostración pública con vehículos motorizados de la Institución (automóvil y tractor agrícola), además de grupos electrógenos, motocultores, secadores, etc.;



Que, el resultado de esta investigación ha sido propuesto como uno de los mejores proyectos del Programa Nacional de Innovación Agraria y participará en la Feria de Resultados en la ciudad de Lima los días 26 y 27 de abril y será presentada ante el BID;

Que, por esta razón, el Sr. Vice Rector de Investigación solicita se emita una Resolución de felicitación al Equipo Investigador que tuvo a su cargo la ejecución del indicado proyecto;

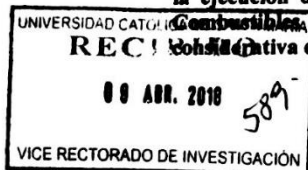
Que, el Consejo Universitario en su sesión de fecha 28-03-2018 tomó conocimiento de dicho pedido acordando felicitar a los integrantes del citado Equipo de Investigación, por lo que cabe emitirse la Resolución correspondiente;

De conformidad con lo dispuesto por el Art. 89, inc. b) del Estatuto de la Universidad;

SE RESUELVE:

PRIMERO

Expresar el reconocimiento y felicitación institucional a las personas que a continuación se indica, en su calidad de miembros del Equipo Investigador que tuvo a su cargo la ejecución del proyecto "Producción y Uso de Biometano Presurizado como sustituto de Combustibles Fósiles en el Sector Agrícola" – PNIA, en razón de lo expuesto en la parte dispositiva de esta Resolución:



J.



Universidad Católica de Santa María

☎ (51 54) 382038 Fax: (51 54) 251213 ✉ ucsm@ucsm.edu.pe 🌐 <http://www.ucsm.edu.pe> Apartado: 1350

AREQUIPA - PERÚ

RESOLUCION No. 6663 -CU-2018

-2

./.

Investigador Principal
Coordinador General
Coordinador Administrativo
Investigadores



Tesistas de Pregrado

Tesistas de Postgrado



Ing. Godofredo Peña Dávila
Dr. Juan Reátegui Ordóñez
Lic. Carmen Condori Vicen
Ing. Fernando Carlos Mejía Nova
Ing. Francisco Javier Roque Rodríguez
Ing. Jorge Luis Castro Valdivia
Dra. Luz Cárdenas Herrera
Ing. Sergio Orlando Mestas Ramos
Bach. Juan José Córdova Gonzales
Bach. Mailson Thomas Apaza Katata
Mgter. Irina Elirazova Salazar Churata
Mgter. Marco Adrián Ponce Mallea
Bach. Jaime Enrique Quispe Huayta
Bach. Giovanna Margot Moscoso Apaza

SEGUNDO

El Vice Rectorado de Investigación, se encargará del cumplimiento e implementación de la presente.

Regístrese y comuníquese.




DR. MANUEL ALBERTO BRICEÑO ORTEGA
RECTOR
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

AGRADECIMIENTO

Agradezco en primer lugar a Dios por guiar mis pasos hasta este punto, porque es mediante él que las cosas buenas suceden, también agradezco a Dios, por haberme dado unos padres ejemplares que me enseñaron el valor del estudio, por apoyarme siempre en los momentos más difíciles y formarme con unos valores sólidos.

Agradezco también a la Universidad Católica de Santa María, mi casa de estudios, donde conocí los frutos del esfuerzo, la perseverancia y el sacrificio.

Agradezco al Vicerrectorado de Investigación de la Universidad Católica de Santa María, por brindarme la oportunidad de pertenecer al excelente grupo de investigadores del proyecto “PRODUCCIÓN Y USO DE BIOMETANO PRESURIZADO COMO SUSTITUTO DE COMBUSTIBLES FÓSILES EN EL SECTOR AGRÍCOLA”, obteniendo los conocimientos necesarios para el desarrollo de esta tesis.

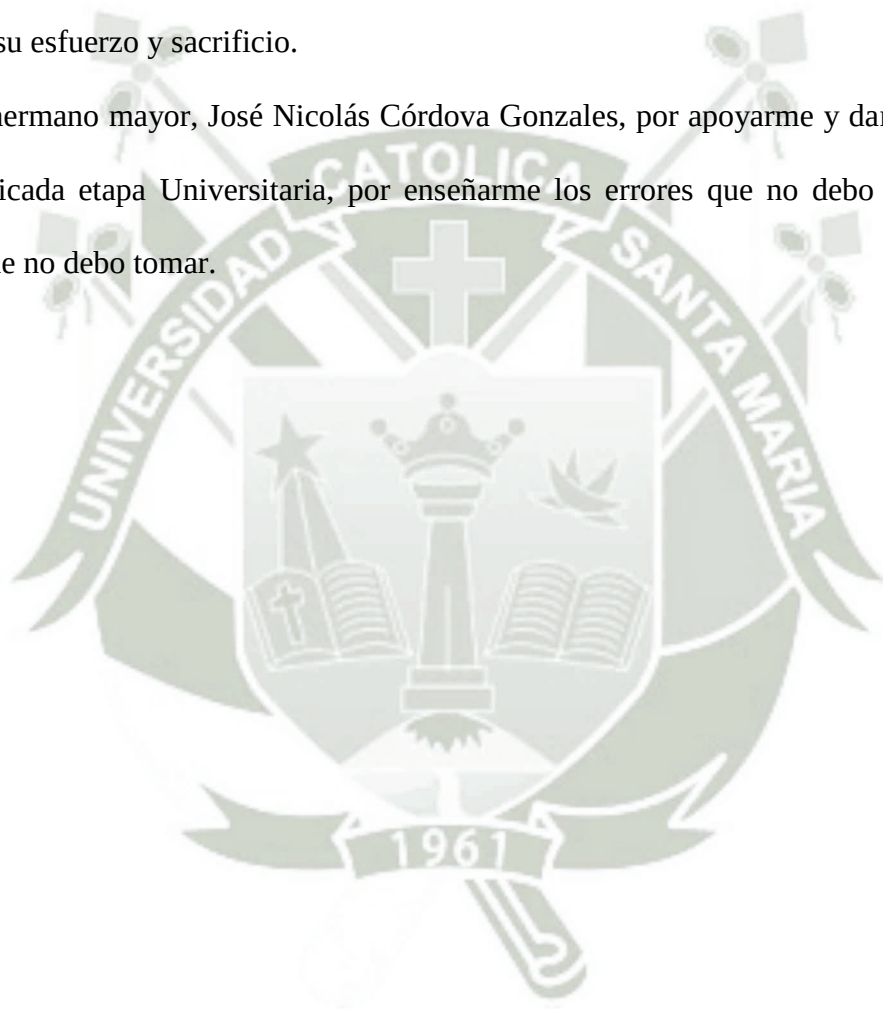
Agradezco al Ingeniero Sergio Mestas por guiarme en el desarrollo de esta tesis, por la confianza, el tiempo, y los conocimientos depositados en mí, no solo en el desarrollo de la presente investigación, sino también a lo largo de mi carrera Universitaria.

DEDICATORIA

A mi abuelo José Gonzales Coaguila, un ejemplo de persona, que me enseñó la importancia de la humildad y el respeto, sé que desde el cielo seguirá guiando mis pasos por el buen camino.

A mis padres, Nicolás Córdova Cayllahua y Bertha Gonzales Romero, este trabajo refleja el fruto de su esfuerzo y sacrificio.

A mi hermano mayor, José Nicolás Córdova Gonzales, por apoyarme y darme ánimos en esta complicada etapa Universitaria, por enseñarme los errores que no debo cometer y los caminos que no debo tomar.



INTRODUCCION

La industria Automotriz, ha ido mejorando constantemente atreves del tiempo, apoyándose en las nuevas tecnologías para satisfacer las nuevas exigencias del mercado: eficiencia de la máquina, mayor potencia y sobre todo mayor ahorro en el gasto de combustible.

En la actualidad el mundo está en un estado de contaminación ambiental elevado, esta contaminación trae consigo como consecuencias cambios que afectan a nuestro estilo de vida normal de manera perjudicial. La principal y la más peligrosa fuente contaminación son las emisiones toxicas emitidas hacia el aire.

La industria automotriz es una de las principales fuentes de contaminación debido a su excesiva quema de combustibles fósiles que liberan una enorme cantidad de sustancias químicas.

Una alternativa para la reducción de estos contaminantes es la que generó la Universidad Católica de santa María mediante el proyecto “PRODUCCIÓN Y USO DE BIOMETANO PRESURIZADO COMO SUSTITUTO DE COMBUSTIBLES FÓSILES EN EL SECTOR AGRÍCOLA” 026-2015-INIA-PNIA/UPMSI/IE con parte del financiamiento de esta casa de estudios y con fondos aportados por el Programa Nacional de Innovación Agraria (PNIA), lograron desarrollar la tecnología para generar biometano de alta pureza en el Fundo de la Católica en la irrigación Majes. A raíz de este proyecto financiado por fondos concursables es que nace la iniciativa del desarrollo de esta tesis teórica y aplicativa para probar la aplicación del combustible renovable generado en un motor de combustión interna.

RESUMEN

El presente trabajo titulado “Monitoreo, evaluación y control de las variables asociadas al biometano presurizado a fin de lograr su uso óptimo en un motor de combustión interna” tuvo como finalidad diseñar y construir una unidad de control (ECU) que permita gobernar el tiempo de inyección de un motor de combustión interna empleando gasolina o biometano.

El tipo de investigación es experimental y aplicativo, las pruebas se realizaron en un motor Toyota 4AFE de ciclo Otto con inyección semi secuencial.

Se aplicó para ello un control difuso, que permite predecir un resultado analizando las variables de entrada, sin necesidad de conocer específicamente el sistema de combustión interna pero teniendo un conocimiento “maestro” de todo el proceso y tomando datos de la ECU original que servirán de una base fiable.

Entre los resultados obtenidos podemos destacar que mediante el buen funcionamiento del control difuso, (siendo este un método de control eficaz y novedoso para el control de motores de combustión interna) se llegó alcanzar una mezcla estequiometria en gasolina y en biometano.

Los resultados muestran que el tiempo de inyección en biometano para lograr esta mezcla ideal, es en un 60% mayor al tiempo de inyección en gasolina (con una concentración mayor al 80% de metano) esto dependerá principalmente de la pureza del biometano, a mayor pureza de metano en el gas este porcentaje se verá disminuido.

Palabras clave:

Unidad de control del motor ECU, control difuso, biometano.

ABSTRAC

This work entitled "Monitoring, evaluation and control of variables associated with pressurized biomethane in order to achieve optimal use in an internal combustion engine" was designed and built a control unit (ECU) to govern the time of injection of an internal combustion engine using gasoline or biomethane.

The type of research is experimental and applicative, the demonstrations were performed on a Toyota 4AFE Otto cycle engine with semi-sequential injection.

A diffuse control was applied for this purpose, which allows us to predict a result by analyzing the input variables, without needing to know specifically the internal combustion system but having a "master" knowledge of the whole process and taking data from the original ECU that will serve as a reliable base.

Among the results obtained we can distinguish that by means of the good functioning of the diffuse control, (this being an effective and novel control method for the control of internal combustion engines) it was possible to reach a stoichiometry mixture in gasoline and biomethane.

The results show that the injection time in biomethane to achieve this ideal mixture is 60% higher than the injection time in gasoline (with a concentration higher than 80% methane) this will depend mainly on the purity of the biomethane, the higher methane purity in the gas this percentage will be diminished.

Key words:

Engine control unit ECU, diffuse control, biomethane.

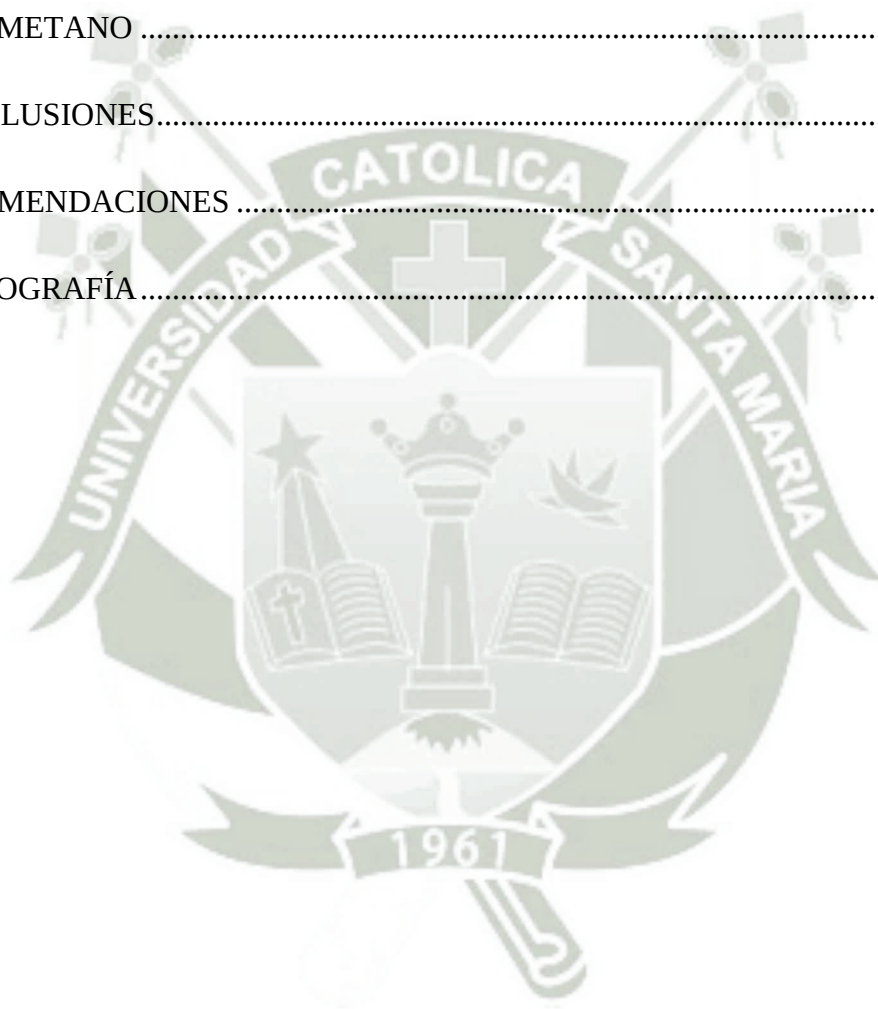
INDICE

AGRADECIMIENTO.....	I
DEDICATORIA.....	II
INTRODUCCION.....	III
RESUMEN.....	IV
ABSTRAC.....	V
CAPITULO I.....	1
MARCO METODOLOGICO	1
1.1 DESCRIPCION DEL PROBLEMA.....	1
1.2 ANTECEDENTES	3
1.3 HIPÓTESIS	5
1.4 OBJETIVOS	5
1.4.1 Objetivos principales.....	5
1.4.2 Objetivos secundarios	5
1.5 APORTES, BENEFICIOS Y BENEFICIARIOS PLANEADOS	6
1.6 JUSTIFICACION	7
CAPITULO II.....	8
MARCO TEORICO	8
2.1 GASOLINA	8

2.2 BIOMETANO.....	8
2.3 MOTOR DE COMBUSTION INTERNA CICLO OTTO	14
2.3.1 Etapas de combustión del ciclo Otto	15
2.3.2 Diagrama de estado del ciclo Otto	18
2.4 PODER CALORIFICO	19
2.5 MEZCLA ESTEQUIOMETRICA DE GASOLINA Y BIOMETANO.....	20
2.5.1 MEZCLA ESTQUIMETRICA GASOLINA.....	20
2.5.2 MEZCLA ESTEQUIOMETRICA BIOMETANO.....	21
2.6 APLICACIÓN DE BIOMETANO EN MOTORES CICLO OTTO.....	22
2.6.1 MCI ciclo Otto	22
2.6.2 Método de inyección de gas en motores de combustión interna.....	22
2.7 ADAPTACION DE UN MOTOR CICLO OTTO PARA SU FUNCIONAMIENTO CON BIOMETANO	23
2.7.1 Procedimiento de conversión de MCI ciclo Otto a GNV:	24
2.8 CONTROL ELECTRONICO DEL SISTEMA CICLO OTTO/BIOMETANO	28
2.8.1 Método de control Fuzzy (Lógica difusa).....	29
2.8.2 Controlador	32
2.8.3 Selección del controlador.....	34
2.9 TARJETA ELECTRONICA DE POTENCIA	44
2.9.1. Elementos electrónicos de la tarjeta de potencia.....	44

2.10 SENSORES PARA EL SISTEMA DE INYECCION	49
2.10.1 Sensor de posición de la mariposa TPS	49
2.10.2 Sensor CKP y CMP	50
2.10.3 Sensor de presión absoluta MAP	54
2.11 CONTROLADOR AFR STAG	55
CAPITULO III	59
DISEÑO DE INGENIERIA	59
3.1 DISEÑO DE CONTROL DIFUSO	59
3.1.1 Lógica de control	63
3.1.2 Función de membresía de entrada.....	64
3.1.3 Funciones de membresía de salida.....	65
3.1.4 Reglas de control Fuzzy	66
3.1.5 Código de control Fuzzy	67
3.1.6 SIMULACION DEL SISTEMA CON EL CONTROL FUZZY MEDIANTE EL SOFTWARE LABVIEW	79
3.2 DISEÑO DE LA TARJETA DE POTENCIA.....	84
3.2.1 Cálculos de diseño.....	85
3.2.2 Circuito electrónico	90
3.3.2 Elaboración de la tarjeta electrónica	92
CAPITULO IV	95

PRUEBA Y RESULTADOS	95
4.1 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO (MOTOR TOYOTA 4AFE).....	95
4.1.1 Pruebas para Gasolina	96
4.1.2 Pruebas para Biometano.....	100
4.2 RENDIMIENTO ENERGETICO Y ECONOMICO DE GASOLINA Y BIOMETANO	105
CONCLUSIONES.....	107
RECOMENDACIONES	109
BIBLIOGRAFÍA.....	110



INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. USOS DEL BIOGÁS Y EL BIOMETANO	9
FIGURA 2. COMPOSICIÓN PORCENTUAL DEL BIOGÁS.....	10
FIGURA 3. ESQUEMA DE COMBUSTIÓN EN LOS MEP	15
FIGURA 4. ETAPA DE ADMISIÓN CICLO OTTO.....	16
FIGURA 5. ETAPA DE COMPRESIÓN CICLO OTTO.....	16
FIGURA 6. ETAPA DE COMBUSTIÓN CICLO OTTO	17
FIGURA 7. ETAPA DE ESCAPE CICLO OTTO.....	18
FIGURA 8. DIAGRAMA DE ESTADO CICLO OTTO	18
FIGURA 9. INYECCION DE GAS EN LA CÁMARA DE ADMISIÓN	22
FIGURA 10. PROCESO DE CONVERSIÓN A 5TA GENERACIÓN GNV	24
FIGURA 11. PERFORACION PARA LA UBICACIÓN DE INYECTORES DE GAS	25
FIGURA 12. DEPÓSITO DE GAS NATURAL	26
FIGURA 13. FILTRO DE GAS NATURAL	26
FIGURA 14. REDUCTOR AT 12 CNG RMAT 3800.	26
FIGURA 15. RIEL DE INYECTORES DE GAS ACW-02-4-CIL.....	27
FIGURA 16. VALVULA DE CARGA DE GAS NATURAL	28
FIGURA 17. ESQUEMA DE CONTROL DE UN SISTEMA CON LÓGICA DIFUSA.	30
FIGURA 18. SÍMBOLO DE LA MARCA ARDUINO	33
FIGURA 19. CONTROLADORES ARDUINO MEGA	35
FIGURA 20. SÍMBOLO DEL PROGRAMA LABVIEW	37
FIGURA 21. VENTANA DE INGRESO A LA OPCIÓN FUZZY SYSTEM DESIGNER DEL PROGRAMA LABVIEW.....	38
FIGURA 22. VENTANA DE INICIO DE FUZZY SYSTEM DESIGNER.....	38
FIGURA 23. VENTANA DE DISEÑO DE ENTRADAS Y SALIDAS DE FUZZY SYSTEM DESIGNER.	39
FIGURA 24. VENTANA DE INTRODUCCIÓN DE REGLAS A FUZZY SYSTEM DESIGNER.	39
FIGURA 25. VENTANA DE SIMULACIÓN DEL CONTROLADOR DIFUSO	40

FIGURA 26. PANTALLA DE INGRESO PARA EL USO DE MAKER HUB LINUX	41
FIGURA 27. PANTALLA PRINCIPAL DE MAKERHUB.....	42
FIGURA 28. PANTALLA DE COMUNICACIÓN COM MAKERHUB.....	42
FIGURA 29.BLOQUE FUZZY CONTROLLER LABVIEW	42
FIGURA 30. BLOQUE DE CARGA DE ARCHIVO A FUZZY CONTROLLER	43
FIGURA 31. OPTOACOPLADOR	44
FIGURA 32.TIPOS DE TRANSISTORES.....	46
FIGURA 33.CORRIENTES EN EL TRANSISTOR	46
FIGURA 34. TRANSISTOR DARLINGTON	49
FIGURA 35. UBICACIÓN DEL SENSOR CKP	51
FIGURA 36.UBICACIÓN DEL SENSOR CPM.....	51
FIGURA 37.EJE DE CIGÜEÑAL MARCADO PARA LA PUESTA A PUNTO	53
FIGURA 38.SENSOR CNY70 MONTADO SOBRE EL EJE DE CIGÜEÑAL.....	53
FIGURA 39. UBICACIÓN DEL SENSOR MAP	54
FIGURA 40. TRABAJO DEL CHIP DEL SENSOR MAP	54
FIGURA 41. CONTROLADOR AFR STAG	56
FIGURA 42.SENSOR DE MEDIDA KIT AFR.....	56
FIGURA 43. MEZCLA ESTEQUIOMETRIA GASOLINA.....	57
FIGURA 44. FIGURA 43. MEZCLA ESTEQUIOMETRIA GNV	57
FIGURA 45. FIGURA 43. MEZCLA ESTEQUIOMETRIA GLP	58
FIGURA 46. GRAFICA DE LA MUESTRA 1 DEL TIEMPO DE INYECCIÓN.....	61
FIGURA 47. GRAFICA DE LA MUESTRA 2 DEL TIEMPO DE INYECCIÓN	61
FIGURA 48. GRAFICA DE LA MUESTRA 3 DEL TIEMPO DE INYECCIÓN.....	62
FIGURA 49. GRAFICA DEL PROMEDIO DE LOS TIEMPOS DE INYECCIÓN.....	62
FIGURA 50. ESQUEMA DEL TIEMPO DE INYECCIÓN.....	63
FIGURA 51.FUNCION DE MEMBRESÍA SENSOR MAP.....	64
FIGURA 52. FUNCIÓN DE MEMBRESÍA DEL TIEMPO DE INYECCIÓN DE GASOLINA.	65

FIGURA 53. FUNCIÓN DE MEMBRESÍA DEL TIEMPO DE INYECCIÓN DEL BIOMETANO	65
FIGURA 54. REGLAS DEL CONTROL DIFUSO	66
FIGURA 55. VENTANA DE LA SIMULACIÓN DE GASOLINA.	79
FIGURA 56. VENTANA DE LA SIMULACIÓN EN BIOMETANO.....	80
FIGURA 57. TIEMPO DE INYECCIÓN REAL DEL MOTOR Y CON TIEMPO DE INYECCIÓN CON EL CONTROL DIFUSO.	82
FIGURA 58. TIEMPOS DE INYECCIÓN: ECU ORIGINAL, CONTROL DIFUSO GASOLINA Y CONTROL DIFUSO BIOMETANO.....	82
FIGURA 59. ESPACIO ENTRE INYECTORES DE GASOLINA EN FUNCIÓN DEL SENSOR TPS.	83
FIGURA 60. . ESPACIO ENTRE INYECTORES DE BIOMETANO EN FUNCIÓN DEL SENSOR TPS.	84
FIGURA 61. ETAPA DE CONTROL Y DE POTENCIA	84
FIGURA 62. ESQUEMA ELÉCTRICO PARA CADA INYECTOR.	85
FIGURA 63. PLACA FÍSICA ELECTRÓNICA PARA CADA INYECTOR.	86
FIGURA 64. MEDICIÓN DE RESISTENCIA DE INYECTORES DEL MOTOR 4AFE	88
FIGURA 65. PRUEBA DE PLACA PARA CADA INYECTOR (INACTIVO).	89
FIGURA 66. PRUEBA DE PLACA PARA CADA INYECTOR (ACTIVO).....	90
FIGURA 67. CIRCUITO ELÉCTRICO PARA CADA INYECTOR.	90
FIGURA 68. CIRCUITO ELÉCTRICO DE LA ALIMENTACIÓN DEL ARDUINO MEGA.....	91
FIGURA 69. CIRCUITO ELÉCTRICO PARA LOS SENSORES CKP Y CMP.....	91
FIGURA 70. PLACA ELECTRÓNICA PARA EL CONTROL DE INYECTORES.....	92
FIGURA 71. PLACA ELECTRÓNICA FÍSICA PARA EL CONTROL DE INYECTORES.	93
FIGURA 72. MÓDULO DE PRUEBAS TOYOTA 4AFE CON SUS CARACTERÍSTICAS.	95
FIGURA 73. VALORES LAMBDA PARA 2 MILLISEGUNDOS DE TIEMPO DE INYECCIÓN.	97
FIGURA 74. VALORES LAMBDA PARA 3 MILLISEGUNDOS DE TIEMPO DE INYECCIÓN.	98
FIGURA 75. MEZCLA ESTEQUIOMETRIA A 1000 RPM.	98
FIGURA 76. MEZCLA ESTEQUIOMETRIA A 1500 RPM	99
FIGURA 77. MEZCLA ESTEQUIOMETRIA A 2000 RPM.	99
FIGURA 78. VALORES LAMBDA PARA 2.8 MILLISEGUNDOS DE TIEMPO DE INYECCIÓN.....	101
FIGURA 79. VALOR DEL SENSOR LAMBDA PARA 3.2 MILLISEGUNDOS DE TIEMPO DE INYECCIÓN.....	101

FIGURA 80. VALOR DEL SENSOR LAMBDA PARA 3.3 MILESEGUNDOS DE TIEMPO DE INYECCIÓN.....	102
FIGURA 81. VALOR DEL SENSOR LAMBDA PARA 3.2 MILESEGUNDOS DE TIEMPO DE INYECCIÓN.	102
FIGURA 82. MEZCLA ESTEQUIOMETRIA A 1000 RPM.	103
FIGURA 83. MEZCLA ESTEQUIOMETRIA A 1500 RPM.	104
FIGURA 84. MEZCLA ESTEQUIOMETRIA A 2000 RPM.	104



INDICE DE TABLAS

TABLA 1. CARACTERÍSTICAS FÍSICO- QUÍMICAS Y ENERGÉTICAS DEL METANO.	10
TABLA 2. IMPUREZAS DEL BIOGÁS, SU POSIBLE IMPACTO Y TECNOLOGÍAS DISPONIBLES PARA SU TRATAMIENTO	11
TABLA 3. VENTAJAS DE BIOMETANO FRENTE	13
TABLA 4. PODER CALORÍFICO PARA DIFERENTES TIPOS DE COMBUSTIBLE.	19
TABLA 5. LISTA DE COMPONENTES PARA LA ADAPTACIÓN DE UN MCI CICLO OTTO DE 5TA GENERACIÓN.....	24
TABLA 6. CARACTERÍSTICAS DEL CONTROLADOR ARDUINO MEGA 2560.....	35
TABLA 7. ESTADOS DEL TRANSISTOR.....	48
TABLA 8. VALORES DE SENSORES Y TIEMPO DE INYECCIÓN BASES PARA EL CONTROL.	60
TABLA 9. TIEMPOS DE INYECCIONES PARA LOS COMBUSTIBLES.....	81
TABLA 10. COMPONENTES DE DISEÑO DE LA ECU.	94
TABLA 11. VALORES DEL SENSOR LAMBDA A DIFERENTES RPM Y CON DIFERENTES TIEMPOS DE INYECCIÓN CON GASOLINA.....	96
TABLA 12. VALORES DEL SENSOR LAMBDA A DIFERENTES RPM Y CON DIFERENTES TIEMPOS DE INYECCIÓN CON BIOMETANO.....	100
TABLA 13. COSTO ACTUAL DE LA GASOLINA Y EL BIOMETANO.	106
TABLA 14. COMPARACIÓN DEL CONSUMO DE LA GASOLINA Y EL BIOMETANO.	106

CAPITULO I

MARCO METODOLOGICO

1.1 DESCRIPCION DEL PROBLEMA

El acceso a la energía es un elemento fundamental para el desarrollo humano, sin embargo, por generaciones hemos podido observar que el empleo de combustibles fósiles son en cierta medida perjudicial, tanto para el medio ambiente como para los seres vivos.

Por otro lado, el costo de este recurso afecta directamente la economía de cualquier persona, empresa u organización que involucre en sus operaciones dicho combustible.

“Debido al uso cada vez mayor de la gasolina como combustible primordial; es decir al tener una demanda que cada vez más cercana a la oferta; es lógico pensar que el precio de este combustible aumente desmesuradamente; sin contemplar el hecho de que este recurso natural cada vez es más difícil y escaso de obtener”. (Sánchez Martinez, 2014, p.15)

Además, el porcentaje del valor adquisitivo de este recurso, comparado con el total del presupuesto designado para la operación generalmente conlleva a tener un costo, en gran porcentaje, elevado.

Todos sabemos del problema grave que trae consigo el uso de combustibles fósiles, debido a los gases tóxicos que se emiten, si bien BP Statistical Review of World Energy en un documento del 2016 publica lo siguiente:

“Las emisiones globales de CO₂ procedentes del consumo de energía se mantuvieron prácticamente estables en 2016 (+ 0,1%), muy por debajo del crecimiento promedio

de 10 años de 1,6% y un tercer año consecutivo de crecimiento inferior al promedio”(BP Statistical Review of World Energy, s.f.).

Son estadísticas sumamente positivas, esto quiere decir que el uso de estos combustibles se ha dosificado. Existen caminos viables que pueden suplir estos combustibles como es el biogás. Sin embargo, en el Perú el uso de este recurso es escaso debido a la falta de investigación referida a este combustible.

El biogás aun siendo una alternativa factible económicamente hablando, no cumple totalmente con la reducción del contaminante CO₂ además contiene componentes altamente perjudiciales para el funcionamiento de los motores de combustión interna.

El biogás al emplearlo en motores de combustión interna puede dañar el motor de combustión debido a algunos de sus compuestos raza, lo que traería consigo la necesidad de una costosa reparación del mismo, así como la interrupción del servicio. Otros en cambio, son compuestos inertes que disminuyen la eficiencia de la combustión. Algunas de estas impurezas existentes en el gas pueden tener un efecto corrosivo o de desgaste en el equipo, perdiéndose parte de su potencial generador de energía. Por ello, se requiere que ese gas pase por un proceso de limpieza” (Estíbaliz Aranzabe).

La problemática en proceso de investigación es como poder adecuar el biometano (100% renovable) en motores de combustión interna para poder tener un óptimo funcionamiento

1.2 ANTECEDENTES

La búsqueda de soluciones que sirvan en el remplazo de combustibles fósiles siempre ha estado en mente de los investigadores. La energía solar, eólica y otras fuentes renovables más, tratan de suplir a los combustibles fósiles.

Países más desarrollados, tienen avanzadas este tipo de tecnologías y no solo eso, no se están quedando solo en teoría, sino que también están implementado estas alternativas de combustibles renovables.

En el artículo titulado “Análisis exploratorio de investigaciones sobre los motores de combustión interna que trabajan con biogás” (Arango, Sierra y Silva 2013) en su nos dan a conocer un panorama general de las tecnologías aplicadas en diferentes partes del mundo así como también el beneficio que trae consigo el uso de este combustible renovable.

Diferentes autores ya van desarrollando la tecnología y análisis para adaptar a los vehículos de combustión interna para el uso de biogás, así como también herramientas que podrían ser usadas de forma eficientes:

- ✓ “Análisis y adaptación de motores de ciclo Otto y diésel operando con biogás”
Ramón Rodríguez Cussó (2012), en su tesis explica a detalle el proceso físico y químico del proceso de conversión.
- ✓ “Desarrollo de una unidad de control electrónico (ecu) dedicada al gobierno de motores de combustión interna” Manuel Manzanares Brotons (2010) desarrolla una ECU electrónica brindándonos conocimientos importantes para ser considerados como base.

- ✓ “Diseño e implementación de una unidad electrónica para controlar el desempeño de un motor de combustión interna” Jorge Luis Hernández Ambato (2010) brinda otra alternativa de diseño de una ECU

En este proceso de cambio, la electrónica es una herramienta básica en la optimización de procesos, controlando las variables que permiten el óptimo desempeño de las maquinas (evitando problemas en el funcionamiento de los equipos) permitiendo el avance de nuevas soluciones que benefician no solo a las personas si no también buscan contribuir en la reducción de la contaminación ambiental.

Actualmente las pruebas e investigaciones del uso de biometano en motores de combustión interna siguen siendo relativamente pobre, esto debido a que este combustible no es producido en nuestro país, sin embargo si hablamos de gas natural, Perú va por buen camino, empresas actualmente se encargan de la adaptación para vehículos de transporte público en ocasiones para vehículos especiales. , esta tesis busca aportar conocimientos en el monitoreo, evaluación y control de las variables que intervienen en el empleo del combustible renovable Biometano en motores de combustión interna.

1.3 HIPÓTESIS

Con el monitoreo, evaluación y control de las variables asociadas al biometano presurizado aplicado a un motores de combustión interna (M.C.I), es posible lograr un óptimo funcionamiento, empleando herramientas novedosas y poco usadas como es el control difuso.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivos principales

- ✓ Monitorear, evaluar y controlar las variables asociadas al biometano presurizado aplicado a un motor de combustión interna (M.C.I).

1.4.2 Objetivos secundarios

- ✓ Evaluar de la viabilidad acerca de la aplicación correcta del combustible renovable (Biometano) en los motores de combustión interna de ciclo Otto, mediante la generación de un controlador difuso para su óptimo funcionamiento.
- ✓ Evaluar el uso eficiente del biometano presurizado a 200 bares, en motor de combustión interna en ciclo Otto, analizar y optimizar las variables involucradas en dicho proceso de adaptación.
- ✓ Probar el funcionamiento del control difuso a fin de alcanzar una quema casi ideal de los combustibles gasolina y biometano.
- ✓ Dejar un precedente teórico y experimental de la implementación eficiente de este proceso en motores de combustión interna.

1.5 APORTES, BENEFICIOS Y BENEFICIARIOS PLANEADOS

Debido a que el biometano en el Perú tiene poco ámbito de desarrollo tecnológico la tecnología que será aplicada será innovadora, a continuación, se detallará los aportes y beneficios que se espera obtener:

Aportes:

Los aportes que dejara esta tesis referido a los conocimientos tecnológicos que serán empleados son:

- ✓ Diseño de una Unidad de control (ECU): Esta se encargará de evaluar las variables que intervienen en el proceso de combustión de un MCI ciclo Otto.
- ✓ Fuzzy como lógica de control: Se empleará como modo de control la lógica difusa, estableciendo los códigos y las librerías necesarias para su desarrollo con Arduino.
- ✓ Fuzzy en LabView: Se empleará el Software LabView con el fin de simular y graficar las variables de entrada y salida que intervienen en el tiempo de inyección del motor.

Beneficios y beneficiarios:

- ✓ El desarrollo de este trabajo de investigación servirá como prueba de que el combustible renovable generado por la Universidad Católica de Santa María del proyecto “PRODUCCIÓN Y USO DE BIOMETANO PRESURIZADO COMO SUSTITUTO DE COMBUSTIBLES FÓSILES EN EL SECTOR AGRÍCOLA”, es aplicable en motores de combustión interna.
- ✓ El control eficaz del biometano como combustible alternativo a los combustibles fósiles como la gasolina, conlleva al óptimo funcionamiento de los MCI, además sumado a que el biometano es un combustible 100% renovable y con

un porcentaje mínimo de contaminantes como el CO₂, se contribuirá a la reducción considerable de las emisiones perjudiciales para el ambiente y salud.

1.6 JUSTIFICACION

La planta de alta performance de producción de Biogás con doble cámara hidrolítica de la UCSM en el fundo Majes en convenio con la empresa Biogás Development & Training Center New Delhi, es la primera fuente de productora de biometano en el Perú, este combustible alternativo debe ser razón de investigaciones en diferentes ámbitos de aplicación.

En ese afán de aprovechar dicho recurso y con el apoyo del proyecto “PRODUCCIÓN Y USO DE BIOMETANO PRESURIZADO COMO SUSTITUTO DE COMBUSTIBLES FÓSILES EN EL SECTOR AGRÍCOLA” es que se realiza esta tesis de investigación aplicada con el fin de emplearlo en un motor de combustión interna, para probar su funcionamiento óptimo y con esto garantizar también la calidad del biogás producido por la Universidad Católica de Santa María.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1 GASOLINA

“El combustible más empleado en los motores Otto es la gasolina. Esta es obtenida mediante la destilación del petróleo bruto” (Gema Checa, 2010, p. 80).

Las principales características de las gasolinas son:

- ✓ La gasolina tiene una alta volatilidad, esto es una propiedad del combustible de transformarse en gas, esto es muy beneficioso en el proceso de combustión para alcanzar la mezcla estequiometria gracias a una mejor unión con el oxígeno del aire
- ✓ “El poder calorífico durante la combustión de la gasolina, puede establecerse, por término medio, en unas 10.500 kilocalorías por kg de gasolina, lo que significa que este kg de gasolina es capaz de desarrollar un trabajo de casi 44.000 kilojulios (kj)” (De Castro (1995).

2.2 BIOMETANO

“El biometano es la forma mejorada del biogás, el cual puede ser intercambiable con el gas natural convencional, es decir, tiene los mismos usos finales que el combustible fósil. Para que el biogás llegue a ser biometano, debe someterse a un proceso de refinación o purificación, en el cual se remuevan todos los componentes dañinos, e incluso, los microorganismos patógenos para su uso doméstico” (Aparicio, 2015, p, 65).

El biogás como tal no puede ser empleado en todo tipo de sistemas energéticos, es por ello que se mejora llegando a obtener el biometano, las aplicaciones de ambos se muestran en la figura 1.

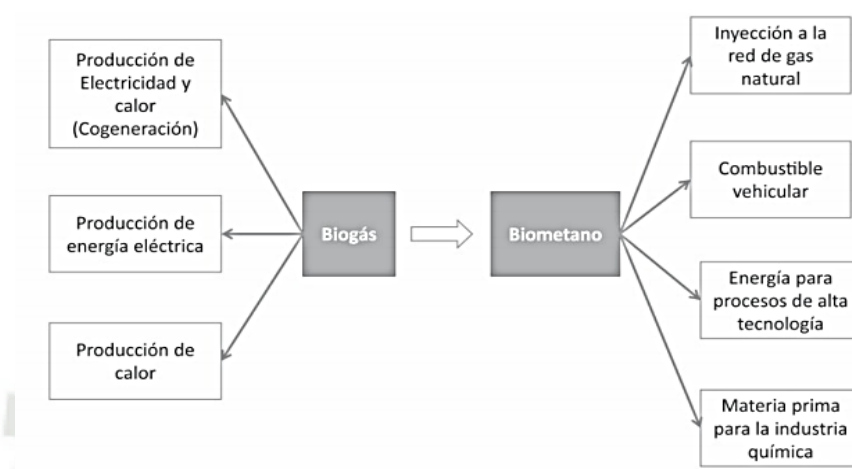


Figura 1. Usos del biogás y el biometano, Tomado de “Biometano: alternativa sostenible del gas natural”, por Aparicio Ariza., 2015, p.7. Recuperado de: [http://www.cdtdegas.com/images/Descargas/Nuestra revista/ MetFlu11 /6Biometano.pdf](http://www.cdtdegas.com/images/Descargas/Nuestra%20revista/MetFlu11/6Biometano.pdf).

La Universidad Católica de Santa María actualmente cuenta con una planta de producción de biogás establecida en el Fundo Majes – Pedregal a su vez cuenta con un sistema de purificación de biogás para obtener biometano, cabe mencionar que esta planta emplea los residuos provenientes del sector agrícola, (aprovechando los recursos de esta área muchas veces desperdiciado), desechos de su planta de lácteos y también sangre que es extraída de los camales aledaños. El residuo que queda al final de producir el biogás, no es desechado, es empleado en la generación de fertilizante, cerrando así un ciclo que no solo favorece al sector agrícola si no también contribuye notablemente en la reducción del CO₂.

El biogás contiene impurezas altamente contaminantes y perjudiciales para los motores de combustión interna:



Figura 2. Composición porcentual del Biogás. , Tomado de “Lubrication Management”, p. 7. Recuperado de <http://lubrication-management.com/wpcontent/uploads/sites/3/2014/07>

✓ Metano, 50-65%

Tabla 1. Características Físico- Químicas y energéticas del metano.

CARACTERISTICAS	VALOR
Formula	CH ₄
Peso molecular	16.042
Punto de ebullición a 760mm Hg	-161.°C
Punto de congelación a 760mm Hg	-182.5°C
Presión critica	474 kg cm ²
Volumen especifico. a 15.5°C y 760mm Hg	1.47 L.g ⁻¹
Poder calorífico (stc)	38.130 KJ/kg
Vol.aire/vol.comb. en combustión	9.53
Indice de Octanos	130
Kg de O ₂ /kg de CH ₄ en comb.	3.98
Temperatura de ignición	65°C
Relación CO ₂ /CH ₄ en peso para comb.	2.74

Nota: Tomado de “tecnologías para el aprovechamiento del gas producido por la digestión anaeróbica de la materia orgánica”, por Luis Alfredo Hemández A., 1996, p.77. Recuperado de: <http://www.bdigital.unal.edu.co/24322/1/21468-73326-1-PB.pdf>

- ✓ Dióxido de carbono, 30%
- ✓ Oxígeno, <10%
- ✓ Nitrógeno, <2%
- ✓ Agua saturada
- ✓ Otros compuestos traza

Dentro de esos OTROS compuestos existen más de 140 sustancias que pueden alcanzar hasta el 0,15% en volumen. Se podrían incluir:

- ✓ Vapor de agua
- ✓ Ácido sulfhídrico
- ✓ Haluros
- ✓ Siloxanos
- ✓ Oxígeno
- ✓ Nitrógeno

(Estíbaliz Aranzabe)

Tabla 2. Impurezas del biogás, su posible impacto y tecnologías disponibles para su tratamiento

IMPUREZA	POSIBLE IMPACTO
Agua	Corrosión de tanques de almacenamiento y motores debido a la reacción con H ₂ S, HN ₃ y CO ₂ para la formación de ácidos. Acumulación de agua en tuberías. Condensación y/o congelación debido a altas presiones.
Polvo	Obstrucción debido a la deposición (transformación de gas en solido) en tanques de almacenamiento de gas y compresores.

H ₂ S	Corrosión en tanques de almacenamiento de gas, en compresores y en motores. Concentración toxicas de H ₂ S remanentes en el biogás. Formación de SO ₂ y SO ₃ debido a la combustión, los cuales son más tóxicos que el H ₂ S y pueden causar corrosión al contacto con el agua.
CO ₂	Disminuye el poder calorífico.
SILOXANOS	Formación de SiO ₂ y micro cristales de cuarzo debido a la combustión.
HIDROCARBUROS	Corrosión de motores debido a la combustión.
NH ₃	Corrosión cuando se disuelve en agua.
O ₂ /AIRE	Peligro de exposición debido a la mezcla de altas concentraciones de oxígeno en el biogás.

Nota: Tomado de “Biometano: alternativa sostenible del gas natural”, por Aparicio Ariza., 2015, p.7. Recuperado de: http://www.cdtdegas.com/images/Descargas/Nuestra_revista/ MetFlu11 /6Biometano.pdf.

Como se observa el biogás tiene un porcentaje de 55 a 70 % de Metano, teniendo este punto como partida podemos definir claramente al biometano como un gas casi libre de CO₂, vapor de agua y con un alto nivel de Metano (mayor a 90%), al ser el metano el componente que aporta mayor poder calorífico, al limpiarlo de CO₂ y vapor de agua, elevamos el valor calorífico que podría llegar hasta 8 260 kcal/m³ con una combustión limpia (sin humo) y casi no contamina.

“La depuración de biogás a calidad de biometano es una tecnología de primera calidad que se practica en más de 500 sitios de producción de biometano alrededor del mundo. El biometano puede sustituir a los combustibles fósiles y ayudar a establecer energía sostenible y renovable en el sector del transporte” (Hofmann, F. - G. Biogas Association - F. Biogas e.V, 2017).

Clara esta la concepción de que el Biogás es una alternativa renovable y viable sin embargo lleva consigo componentes no deseados que deben ser purificados para conseguir el Biometano que puede remplazar al Gas Natural, la pregunta final referente a este tema es: ¿Porque no usar simplemente gas natural? Debido a que este recurso al final de cuentas se agotará tarde o temprano, la tabla 3 hará una comparación de las ventajas del Biometano frente al Gas Natural.

Tabla 3. Ventajas de biometano frente

GAS NATURAL	BIOMETANO
Combustible de origen fósil (no renovable)	Combustible de origen renovable.
Toma millones de años la descomposición de la materia orgánica para la producción de gas natural.	La producción del biogás se realiza con materia orgánica “Fresca”, como los residuos agrícolas, que se descomponen rápidamente.
La producción de gas natural depende únicamente de las reservas naturales, las cuales varían de un país a otro.	Dada la materia prima necesaria para la obtención de biogás, este se produce en cualquier parte del mundo.
Interviene drásticamente en el ambiente, mediante la perforación de los suelos y la destrucción de los hábitats.	Su producción no afecta el ambiente, ni representa un gran riesgo de polución o pérdida de biodiversidad.
La combustión del gas natural	El biometano también emite CO ₂ a la

incrementa las emisiones de CO ₂ .	atmosfera, pero estas emisiones corresponden a las mismas que tendría la materia orgánica en descomposición.
---	--

Nota: Tomado de “Biometano: alternativa sostenible del gas natural”, por Aparicio Ariza.,2015,p.8.Recuperadode:http://www.cdtdegas.com/images/Descargas/Nuestra_revista/6Biometano.pdf. MetFlu11

“Un ejemplo del impacto en la reducción de contaminación en el medio ambiente al emplear el biometano se muestra en el Reino Unido. La protagonista, la empresa Coca-Cola que, recientemente, ha puesto en marcha una estación de servicio en el condado londinense de Enfield que suministrará unas 168 toneladas de Biometano a una flota de 14 de sus camiones, marca Iveco, y que evitará la emisión a la atmósfera de 300 toneladas de CO₂ 1590 kilos de NO_x y 33 kilos de partículas al año” (Agrobiomet, 2017).

2.3 MOTOR DE COMBUSTION INTERNA CICLO OTTO

“También conocidos como motores de encendido provocado MEP, o motores de encendido por chispa, se debe evitar la denominación de motor de explosión, menos correcta que las anteriores ya que el seno del motor tiene lugar una combustión inducida por un agente, no una explosión (que no implica necesariamente una combustión)” (Rovira de Antonio & Muñoz, 2015, p. 30).

Los motores de combustión interna de ciclo Otto necesitan principalmente de 3 agentes para realizar la combustión:

- ✓ Combustible
- ✓ Aire
- ✓ Detonante

Básicamente el sistema inicia cuando el combustible y el aire se juntan en una mezcla homogénea para posteriormente detonar gracias a la chispa entregada por la bujía en el ciclo de compresión.

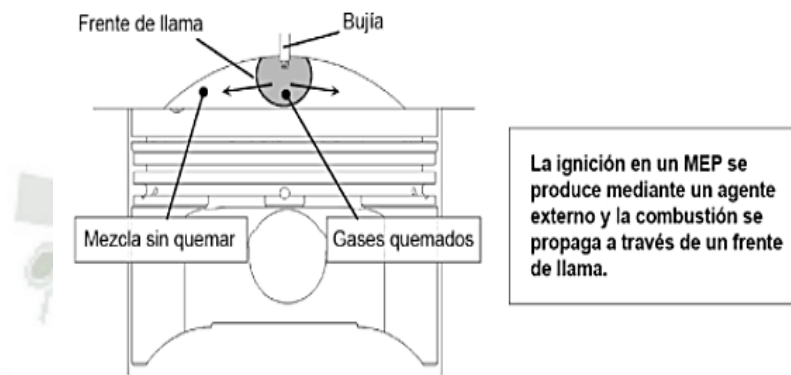


Figura 3. Esquema de combustión en los MEP. Tomado de “Motores de Combustión Interna”, 2015. p, 37. Recuperado de https://books.google.com.pe/books?id=-EflCgAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gb_s_ge_su_mmary_r&cad=0#v=onepage&q=esquema&f=false

2.3.1 Etapas de combustión del ciclo Otto

2.3.1.1 Admisión

En la etapa de admisión, el pistón desciende hasta el punto muerto inferior, la válvula de escape se encuentra cerrada, la válvula de admisión se encuentra abierta, debido a esto la presión en la cámara de combustión es baja. Cuando el pistón desciende logra aspirar la mezcla aire combustible y permanece en la cámara de combustión. Esto se puede resumir en lo siguiente:

- ✓ Pistón PMI.
- ✓ Válvula admisión abierta, válvula de escape cerrada.
- ✓ Baja presión en la cámara de combustión.
- ✓ Aspiración mezcla aire combustible.



Figura 4. Etapa de admisión ciclo Otto. Tomado de “Instrumentación y control para la conversión de un motor de combustión interna a bi-combustible, por Abraham Sánchez Martínez 2014, p. 18.

2.3.1.2 Compresión

En la etapa de compresión el pistón sube hasta el punto muerto superior de la cámara de combustión, en este recorrido la mezcla aire combustible se comprimen, para esto todas las válvulas están cerradas para evitar la pérdida de presión. Esto se puede resumir en lo siguiente:

- ✓ Pistón sube PMS.
- ✓ Válvulas cerradas.
- ✓ Elevada presión y temperatura en la cámara de combustión.

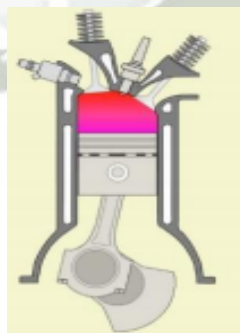


Figura 5. Etapa de compresión ciclo Otto. Tomado de “Instrumentación y control para la conversión de un motor de combustión interna a bi-combustible, por Abraham Sánchez Martínez 2014, p. 18.

2.3.1.3 Combustión

En la etapa de combustión el pistón aún se encuentra en carrera positiva (el pistón está en ascenso), en este proceso y a una distancia específica de llegar al PMS salta una chispa de la bujía permitiendo la combustión de la mezcla, producto de esta combustión se expanden los gases que provocan el descenso del pistón. Esto se puede resumir en lo siguiente:

- ✓ Válvulas cerradas
- ✓ Combustión de la mezcla aire gasolina
- ✓ Temperatura y presión en la cámara de combustión disminuye.
- ✓ Empieza el descenso del pistón.

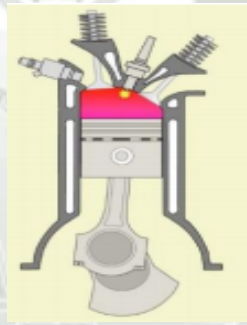


Figura 6. Etapa de combustión ciclo Otto. Tomado de "Instrumentación y control para la conversión de un motor de combustión interna a bi-combustible, por Abraham Sánchez Martínez 2014, p. 18.

2.3.1.4 Escape

En la etapa de escape como su nombre lo dice, el pistón sube al PMS retirando todos los gases generados de la combustión para esto la válvula de admisión se encuentra cerrada pero la válvula de escape se abre retirando todos los gases y limpiando la cámara de combustión para estar listo para un nuevo ciclo que comienza con la admisión nuevamente. Esto se puede resumir en lo siguiente:

✓ Válvula de admisión cerrada, válvula de escape abierta

✓ Pistón en ascenso.



Figura 7. Etapa de escape ciclo Otto. Tomado de “Instrumentación y control para la conversión de un motor de combustión interna a bi-combustible, por Abraham Sánchez Martínez 2014, p. 17.

2.3.2 Diagrama de estado del ciclo Otto

En la figura 8 se ve el diagrama de estado de ciclo Otto en diagrama Presión – Volumen.

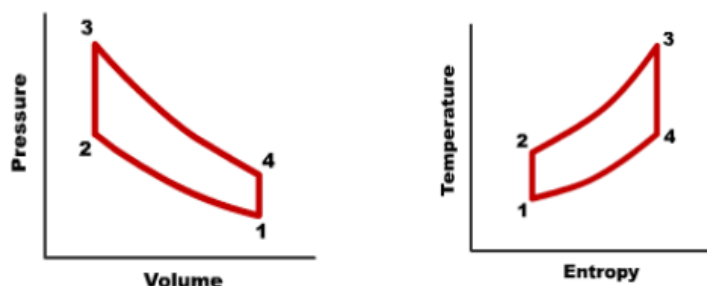


Figura 8. Diagrama de estado ciclo Otto. Tomado de “Instrumentación y control para la conversión de un motor de combustión interna a bi-combustible, por Abraham Sánchez Martínez 2014, p. 17.

✓ 1-2 Compresión Isoentrópica.

✓ 2-3 Combustión a volumen constante.

✓ 3-4 Expansión Isoentrópica.

✓ 4-1 Escape a volumen constante.

2.4 PODER CALORIFICO

Para establecer el consumo aproximado de cada combustible, se debe conocer algunas características de los combustibles. Se puede estimar un consumo dependiendo del poder calorífico por hora y de la potencia de la maquina con la que se trabaje.

“El poder calorífico en peso o volumen representa la cantidad de energía liberada por unidad de peso o volumen de carburante como consecuencia de la reacción química de combustión completa” (Wauquier, p. 178 ,2004).

Tabla 4. Poder calorífico para diferentes tipos de combustible.

Combustible	Poder calorífico inferior, MJ/kg	Poder calorífico Inferior, KWh/kg	Gramos de CO2 por kWh
Biometano	50	13.9	198
Propano	46	12.7	237
Butano	45	12.6	241
Diésel	42.7	11.9	268
Gasolina	42.4	11.77	280

Nota: Tomado de Manual de producción y uso de biometano presurizado a baja y alta presión, UCSM, 2018.

La fórmula siguiente nos permite tener una estimación del consumo requerido para generar la potencia deseada o solicitada por cada máquina.

$$Q = \frac{P}{P_{cal}}$$

Donde:

$$Q = \text{Caudal} \left(\frac{m^3}{hr} \right) \quad P = \text{Potencia} (kW) \quad P_{cal} = \text{Poder calorifico} \left(\frac{kWh}{m^3} \right)$$

2.5 MEZCLA ESTEQUIOMETRICA DE GASOLINA Y BIOMETANO

2.5.1 MEZCLA ESTQUIMETRICA GASOLINA

“Un motor Otto necesita para su funcionamiento una determinada reacción aire/combustible. La combustión completa teóricamente ideal es una razón de masa de 14,7:1. Esta se denomina también relación estequiometria. Es decir, para la combustión de 1kg de combustible se precisa 14.7kg de aire” (Bosch, 2002, p, 605).

El consumo del combustible depende de la mezcla aire combustible, si bien el funcionamiento del motor no se ve muy afectado al tener una mayor proporción aire y con esto tener una reducción de consumo de combustible, hay que tener en cuenta que existe un rango o un límite para poder ampliar o reducir según sea el caso estos valores.

Razón de aire Lambda

“Para señalar cuanto se desvía la mezcla de aire combustible existen en realidad con respecto a la razón de masa que se necesita en teoría (14,7:1) se ha escogido la razón de aire o la proporción de aire (lambda): esto indica la relación de la masa de aire suministrada con el aire necesitado durante una combustión estequiometria” (Bosch, 2002, p, 605).

- ❖ La mezcla estequiometria aire combustible teóricamente se logra cuando el valor lambda es igual a 1.

$$\gamma = 1$$

- ❖ Cuando se produce una falta de aire, la mezcla tiene una mayor proporción de combustible, la cual se denomina mezcla rica, lambda es menor que 1.

$$\gamma < 1$$

- ❖ La potencia máxima resulta para:

$$\gamma = 0.85 \text{ a } 0.95$$

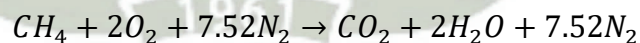
- ❖ Cuando se produce un exceso de aire, la proporción de combustible se reduce, a esto se le conoce como mezcla pobre. El valor de lambda para este caso es mayor a 1. Se tiene un consumo reducido de combustible y una reducción por consiguiente de potencia.

$$\gamma > 1$$

2.5.2 MEZCLA ESTEQUIOMETRICA BIOMETANO

“El metano, principal componente del biogás (CH_4 , CO_2 y SH_2), producido de la digestión anaeróbica de residuos orgánicos, como cualquier hidrocarburo gaseoso, se puede utilizar eficientemente como combustible en motores de combustión interna” (Hernández, 1996, p, 77).

La estequiometria de la combustión del metano se plantea en la siguiente reacción:



De esta forma, la relación en peso de aire/combustible será:

$$\frac{2\text{O}_2 + 7.52\text{N}_2}{\text{CH}_4} = \frac{64 + 210.5}{16.04} = 17.1 \text{ kg de aire por cada kg de metano quemado}$$

2.6 APLICACIÓN DE BIOMETANO EN MOTORES CICLO OTTO

2.6.1 MCI ciclo Otto

En los MEP (Motor encendido provocado por chispa) como es de conocimiento, cuenta con un sistema de encendido que depende de una chispa provocada por una bujía. Por lo que se puede emplear hasta en un 100% de gas.

En estos motores se evidencia una pérdida de energía cuando son operados con biogás en comparación con el uso del combustible natural del vehículo (gasolina).

“La razón de este fenómeno es una disminución en la eficiencia volumétrica en la cámara de combustión al ser el biogás un combustible gaseoso que ocupa una mayor porción de volumen en la mezcla aspirada por el motor” (Gómez, Vargas, & Leal, 2012, p. 157).

2.6.2 Método de inyección de gas en motores de combustión interna

2.6.2.1 Inyección de gas en la admisión de aire

“En este sistema se coloca una entrada de gas en la admisión de aire, con el fin de mezclar el combustible gaseoso con un determinado porcentaje de aire, el motor aspira y comprime una mezcla de aire con biogás que ha sido preparada en el dispositivo de mezcla externo; luego, esta mezcla se enciende junto con el diésel líquido” (Arango Gómez, Sierra Vargas, & Silva Leal, 2012, p.156).

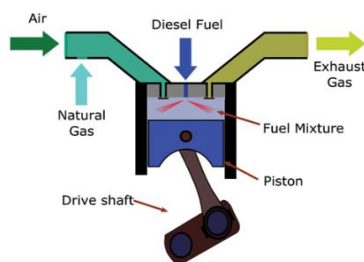


Figura 9. Inyección de gas en la cámara de admisión

2.6.2.2 Inyección de gas en la cámara de combustión

En este sistema, se tienen que hacerle una modificación del motor, se debe perforar el motor e incluirle unos propios inyectores para el gas, ya no un ingreso de gas común en la admisión del aire.

Entonces se tiene una entrada de diésel y una entrada de gas, tiene el mismo proceso de combustión, la diferencia es que se tiene un control de inyección en cada cilindro.

2.7 ADAPTACION DE UN MOTOR CICLO OTTO PARA SU FUNCIONAMIENTO CON BIOMETANO

Como es de conocimiento, los motores de combustión interna de ciclo Otto tienen un sistema de encendido por chispa, el biometano tiene una presión de combustión más elevada que el diésel, es por eso que en motores de combustión interna ciclo Otto no se hace ninguna conversión significativa, el cambio más evidente es añadir un riel de inyección de gas. En el presente trabajo se busca el monitoreo, evaluación y control de las variables asociadas al biometano presurizado, por lo que necesitamos adaptar dichos equipos a un sistema que trabaje con biometano.

Dicha adaptación debe ser según las normas que rigen nuestro País, por lo que nos apoyamos en la empresa AC STAG.S.A.C la cual se encargara de la adaptación del motor Otto para que trabaje con biometano.

Los elementos básicos de una adaptación del motor ciclo Otto se denotan en la Tabla 5:

Tabla 5. Lista de componentes para la adaptación de un MCI ciclo Otto de 5ta generación.

COMPONENTE	CANTIDAD (UNID)
RED. AT12 GNV	1
Riel de inyectores ACW-02-4-CIL	1
Filtro de fase gaseosa 12/12	1
Manguera de gas 12mm	1
Manguera de GNV 6mm	1
Manguera de 4 mm GNV	1
Manguera de agua 15mm	1
Cañería de acero 6mm	1
Bolsa de accesorios de fijación	1

Fuente: Elaboración propia.

2.7.1 Procedimiento de conversión de MCI ciclo Otto a GNV:

Para realizar la conversión de un MCI ciclo Otto se debe tener en consideración las características mecánicas y electrónicas que tiene el vehículo de esto dependerá el tipo de conversión que se realizará.

2.7.1.1 Conversión a 5ta Generación

Para realizar esta conversión es indispensable que motor sea de inyección electrónica, caso contrario se limitaría a un sistema de 3era generación.

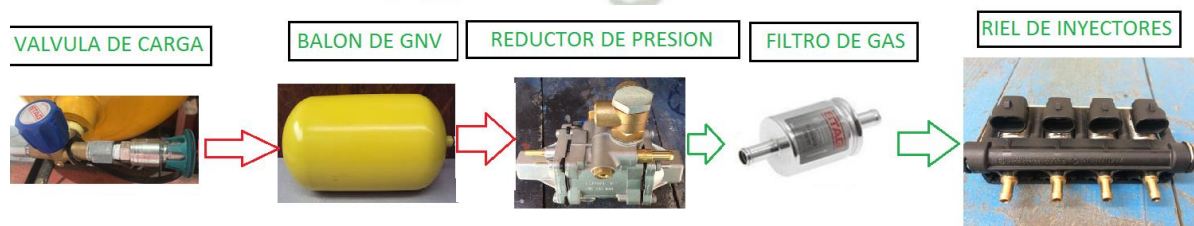


Figura 10. Proceso de conversión a 5ta generación GNV. Fuente: Elaboración propia.

El proceso parte desde la válvula de carga, aquí llega el GNV a alta presión (200bar) luego se almacena en el balón de GNV el cual como es de nuestro conocimiento es más pesado que el balón de GLP por su mayor grosor. Posteriormente el gas sale del balón y va al reductor, el cual expande el gas reduciendo la presión del gas a una presión manejable, pasa por el filtro que se encarga de limpiar las impurezas remanentes y finalmente termina en los inyectores de gas, cabe señalar que desde la válvula de carga hasta el reductor de presión la cañería es de acero debido a la alta presión.

El cambio más significativo que se le hace al motor es la adición del riel de inyectores de gas, para lo cual se debe tener en cuenta al momento de convertir un MCI ciclo Otto a GNV es el lugar donde instalar el riel de inyectores, en la figura 11 se mostrara la perforación en la cabeza del cilindro (culata) donde serán instalados los inyectores de gas (en la figura 11 se muestran desmontados los inyectores de gasolina), junto a los inyectores de gasolina del vehículo.



Figura 11. Perforación para la ubicación de inyectores de gas. . Fuente: Elaboración propia.

- ✓ **Deposito:** Lugar de almacenamiento del biometano.



Figura 12. Depósito de gas natural. Fuente: Elaboración propia.

- ✓ **Filtro de gas:** Filtra el gas líquido de las impurezas



Figura 13. Filtro de gas natural, Tomado de “Stag” Recuperado de <http://www.ac.com.pl/productos-autogas/>

- ✓ **Reductor de presión AT 12 CNG RMAT3800 (KPL):**

Expande el biometano, reduciendo la presión y manteniéndola constante en todo el proceso.



Figura 14. Reductor AT 12 CNG RMAT 3800. . Fuente: Elaboración propia.

“El reductor de presión de GNC Tomasetto modelo AT12 es un reductor con dos etapas de reducción para sistemas de inyección secuencial gaseosos. Compacto y fiable, aprobado ECE R110, Enargas NAG 415 y NAG 417 y está conforme con la norma ISO 15500”(Achille, s.f.).

La presión de salida del reductor puede variar de 0.1 a 0.25 Mpa, esta es una presión manejable y adecuada para los inyectores de gas.

✓ **Riel de inyectores de gas ACW-02-4-CIL:**



Figura 15. Riel de inyectores de gas ACW-02-4-CIL. Fuente: Elaboración propia.

Estos inyectores están diseñados para las instalaciones de auto gas con inyección secuencial para vehículos de combustión interna. Tienen una dosificación precisa del gas a baja presión para cada cilindro del motor.

✓ **Válvula de carga:**

Abre o cierra el flujo de gas en su forma líquida hacia el proceso y permite el llenado del balón de GNV.



Figura 16. Valvula de carga de gas natural, Tomado de "Stag" Recuperado de <http://www.ac.com.pl/productos-autogas/>

2.8 CONTROL ELECTRONICO DEL SISTEMA CICLO OTTO/BIOMETANO

Todos estamos al tanto de la evolución que ha tenido la industria automotriz desde su aparición, todos estos avances automotrices van de la mano con el avance de la electrónica.

El enfoque principal de las mejoras en esta industria, está encaminado a desarrollar vehículos lo más eficientes posible respecto al consumo de combustible y al efecto de contaminación.

Hoy en día todos los vehículos cuentan con una ECU que se encarga de controlar y evaluar los parámetros del motor, con esto pude dosificar la inyección del combustible, así como el aire de ingreso con el fin de logran un punto óptimo de funcionamiento del motor.

Los motores diésel que se adaptan para el uso dual no son la excepción, el cerebro que gobernara este sistema será un controlador programable que cumplirá la función de la ECU recibiendo señales de los sensores y tomando decisiones en la inyección según sea la

exigencia de carga, adicional a este controlador se debe fabricar una placa electrónica, esta se encargara de controlar la inyección de combustible según sea la exigencia del conductor.

Las características del controlador deben ser suficientes para monitorear el motor y tener una respuesta precisa en la inyección, aparte de ser un controlador accesible en el mercado, económico y tener un entorno amigable para el programador.

La tarjeta electrónica debe tener componentes que aseguren el funcionamiento óptimo del motor al igual que el controlador debe ser de fácil acceso en el mercado y de un costo económico.

2.8.1 Método de control Fuzzy (Lógica difusa)

Lógica difusa:

“Básicamente la Lógica Difusa es una lógica multivaluada que permite representar matemáticamente la incertidumbre y la vaguedad, proporcionando herramientas formales para su tratamiento. Cualquier problema del mundo puede resolverse como dado un conjunto de variables de entrada (espacio de entrada), obtener un valor adecuado de variables de salida (espacio de salida)” (Gonzales, 2011, p. 7).

Características de la lógica difusa:

- ✓ “El razonamiento exacto puede verse como un caso particular del razonamiento aproximado. Cualquier sistema lógico puede ser fuzzificado” (Gonzales, 2011, p. 7).
- ✓ El sistema difuso se emplea principalmente cuando se carece de conocimiento del sistema a trabajar, para ello se introduce una aproximación.

- ✓ “Se utiliza ampliamente en sistemas de ayuda a la decisión. La lógica difusa permite obtener decisiones con valores incompletos o información incierta” (Gonzales, 2011, p. 7).

La lógica difusa es empleada cuando tenemos un sistema no lineal o también si es que no tenemos un conocimiento pleno del sistema que vamos a controlar.

Para esto la lógica difusa ofrece una herramienta óptima para controlar sistemas de este tipo, basta con tener conocimiento del comportamiento de las variables de entrada como de las variables de salida y asignando reglas que regirán el sistema podemos tener una aproximación del comportamiento del sistema.

Esquema de control Fuzzy:

El esquema de control de un sistema difuso cuenta con las siguientes partes:

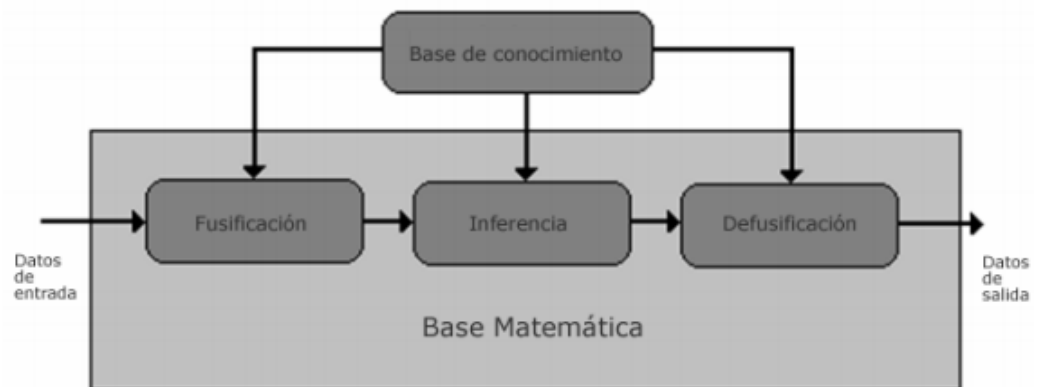


Figura 17. Esquema de control de un sistema con lógica difusa. Tomado de “Lógica Difusa”, recuperado de http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lmt/ramirez_r_o/capitulo3.pdf

✓ **Datos de entrada:**

Son los datos de entrada del sistema, tenemos conocimiento de estos y cómo se comportan, mediante la variación de estos datos y con la participación de las reglas de control es que el sistema de gobierna.

✓ **Datos de salida:**

El resultado del control son los datos de salida, también es necesario tener un conocimiento “maestro” del comportamiento de estas variables, con el fin de realizar conjuntos difusos y poder obtener un valor de salida deseado

✓ **Fusificación:**

“La fusificación tiene como objetivo convertir valores crisp o valores reales en valores difusos. En la fusificación se asignan grados de pertenencia a cada una de las variables de entrada con relación a los conjuntos difusos previamente definidos utilizando las funciones de pertenencia asociadas a los conjuntos difusos” (Universidad de las Américas Puebla (UDLAP)).

✓ **Base de conocimiento:**

Como el título lo nombra, es el conocimiento global que se tiene del sistema, aquí es donde se encuentran las reglas de control que son basadas en el comportamiento del sistema y que generan los valores de salida deseados.

✓ **Inferencia:**

En la inferencia es donde se recopila la base de conocimiento para formular condiciones que relacionan los conjuntos de entrada y de salida.

✓ **Defusificación:**

“La defusificación realiza el proceso de adecuar los valores difusos generados en la inferencia en valores crisp, que posteriormente se utilizarán en el proceso de control. En la defusificación se utilizan métodos matemáticos simples como el método del Centroide, Método del Promedio Ponderado y Método de Membresía del Medio del Máximo” (Universidad de las Américas Puebla (UDLAP)).

2.8.2 Controlador

Como ya se mencionó el controlador es el cerebro del motor se encargará de recibir las señales provenientes de los diferentes sensores y realizar una serie de instrucciones procesando estos datos, con el fin de tomar decisiones en la inyección de los combustibles.

Existe una amplia gama de controladores, con diferentes características según sea la exigencia del proceso. La mayoría de estas variantes se basan en el número de entradas y salidas, tanto analógicas como digitales. También se diferencian en la resolución, así como en la velocidad de respuesta que presentan.

2.8.2.1 Arduino

Arduino es una plataforma multifuncional de código libre basada en hardware y software de fácil uso. Arduino como hardware es un dispositivo electrónico que permite la lectura y escritura de valores analógicos y digitales. Estas acciones pueden verse reflejadas en diferentes tareas, desde encender un led, realizar el funcionamiento de un motor hasta aplicaciones mucho más complejas.

Arduino como software (IDE), presenta un lenguaje de programación Arduino. Es de fácil uso y lo mejor de todo es que ha servido para desarrollo de investigaciones y proyectos, cuyos ejemplos están de libre acceso en la red.

Características principales de Arduino:

✓ **Multiplataforma:**

El software de Arduino (IDE) se ejecuta en Windows, Macintosh OS X, y Linux. La mayoría de los sistemas de micro controladores están limitados a Windows.

✓ **Entorno de programación sencillo y claro:**

Es tan sencillo para desarrollar el código por estudiantes, pero también es lo suficientemente complejo para desarrollar trabajos de investigaciones avanzadas. Simplemente es necesario tener un conocimiento básico del funcionamiento del IDE de Arduino. Adicional a esto y para mejorar el aprendizaje IDE de Arduino tiene ejemplos de fáciles aplicaciones como lectura y escritura de variables, comunicación serial, etc.

✓ **Software de código abierto y extensible:**

“El software Arduino se publica como herramientas de código abierto, disponibles para extensión por programadores experimentados. El lenguaje puede expandirse a través de bibliotecas C ++, y las personas que quieran comprender los detalles técnicos pueden dar el salto de Arduino al lenguaje de programación AVR C en el que se basa. Del mismo modo, puede agregar código AVR-C directamente en sus programas Arduino si así lo desea” (Arduino, Arduino, 2017).



Figura 18. Símbolo de la marca Arduino, Tomado de Arduino, 2017. Recuperado de <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>

2.8.3 Selección del controlador

Como sabemos es importante tener en cuenta la forma de programar, esto depende únicamente del controlador, así como el lenguaje de programación.

Al seleccionar el controlador Arduino, debemos conocer la arquitectura del controlador (Entradas, salidas, alimentación, velocidad de respuesta, resolución Etc.) para seleccionar uno que cumpla las características que requerimos, de la misma forma debemos conocer el lenguaje de este controlador para poder trabajarlo sin ningún problema.

Arduino brinda una gran cantidad de opciones según el requerimiento del usuario, la selección básicamente se basa en el número de entradas y salidas (tanto analógicas como digitales), también depende principalmente en la resolución y la memoria disponible para desarrollar el programa. Para poder saber que controlador elegir primero detallaremos las entradas y salidas que vamos a requerir:

Entradas:

- ✓ Sensor de posición de la mariposa TPS (Analógico)
- ✓ Sensor de ingreso de aire MAP (Analógico)
- ✓ Sensor CKP (Digital)
- ✓ Sensor CMP (Digital)

Salidas:

- ✓ Inyectores (4 Digitales)
- ✓ Inyector arranque en frío (1 Digitales)

Para estas condiciones bastaría con un Arduino uno para realizar el control, sin embargo, el espacio de memoria de un Arduino uno es insuficiente para realizar nuestra programación (32 KB de los cuales 0,5 KB utilizado por cargador de

arranque), por ello se optó por emplear un Arduino mega que cuenta con un espacio de memoria de 256 KB de los cuales 8 KB utilizado por cargador de arranque.

Arduino mega:

“El Mega 2560 es una placa electrónica basada en el Atmega2560, 2560 está diseñado para proyectos más complejos. Cuenta con 54 pines digitales de entrada / salida (de los cuales 15 se puede utilizar como salidas PWM), 16 entradas analógicas, 4 UARTs (puertos serie de hardware), un oscilador de cristal 16 MHz, una conexión USB, un conector de alimentación, una cabecera ICSP, y un botón de reinicio” (Arduino, s.f.).

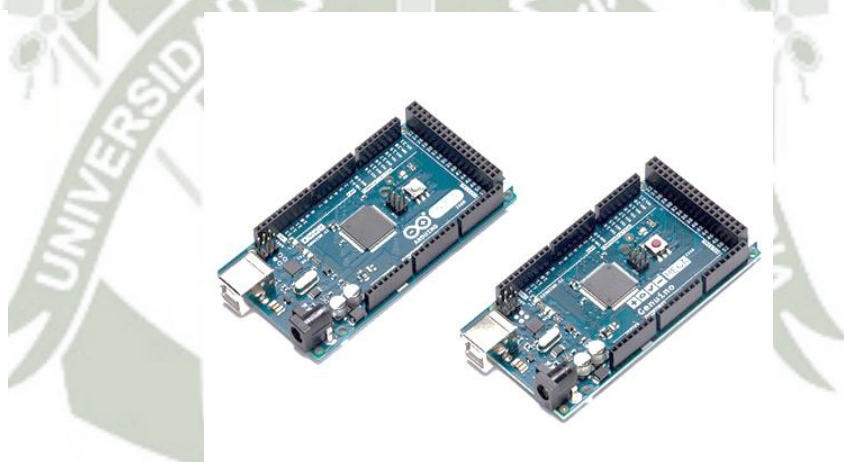


Figura 19. Controladores Arduino Mega. Tomado de “Arduino”. Recuperado de <http://arduino.cl/arduino-mega-2560/>

Tabla 6. Características del controlador Arduino Mega 2560.

CARACTERISTICAS	DATO
Micro controlador	Atmega 2560
Tensión de funcionamiento	5V
Voltaje de entrada (recom.)	7-12V
Voltaje de entrada (limt.)	6-20V
Digitales pines I/O	54 (15 Salida PWM)

Pines de entrada analógica	16
Corriente DC por Pin I/O	20mA
Corriente DC por Pin 3.3V	50mA
Memoria flash	Arranque
SRAM	8KB
EEPROM	4KB
Velocidad de reloj	16MHz
LED_BUILTIN	13
Longitud	101.52 mm
Anchura	53.5 mm
Peso	37g

Nota: Continuación Tabla 6. Fuente: Elaboración propia.

2.8.4.2 Lenguaje y forma de programación Arduino

Arduino se programa mediante el uso de un lenguaje propio basado en el lenguaje de programación de alto nivel Processing que es similar a C++, también es posible programarlo mediante programas tales como MATLAB o LABVIEW.

✓ **Software Arduino (IDE):**

“El entorno de desarrollo integrado Arduino - o el software Arduino (IDE) - contiene un editor de texto para escribir código, un área de mensajes, una consola de texto, una barra de herramientas con botones para funciones comunes y una serie de menús. Se conecta al hardware Arduino y Genuino para cargar programas y comunicarse con ellos” (Arduino, Arduino, 2017).

✓ **LabView:**

Para simplificar la integración de hardware de cualquier controlador o dispositivo de entradas y salidas, sin importar la marca de estos se emplea LabView, un medio fácil de adquirir y visualizar datos.

Para realizar este tipo de acciones como la adquisición de datos, es necesario realizar una programación gráfica, esto evita el un tanto tedioso código escrito.



Figura 20. Símbolo del programa LabView. Tomado de “National Instrument. Recuperado de http://www.ni.com/es-cr/shop/labview.html?icid=HP_

LabView permite comunicar nuestro controlador Arduino mediante los paquetes descargables que ofrece, dichos paquetes contienen la librería para leer y escribir de las entradas y salidas del controlador.

Empleando LabView realizaremos el monitoreo y registro de las variables que intervienen en el ciclo de inyección, sensores tales como MAP o TPS serán visualizados y monitoreados con el fin de conocer el comportamiento del motor.

Como ya se mencionó, el método de control que emplearemos será la lógica difusa, un método de control efectivo para sistemas que no conocemos su comportamiento completamente.

LabVIEW posee una función llamada Control and Simulation, la cual contiene un comando llamado Fuzzy System Designer.

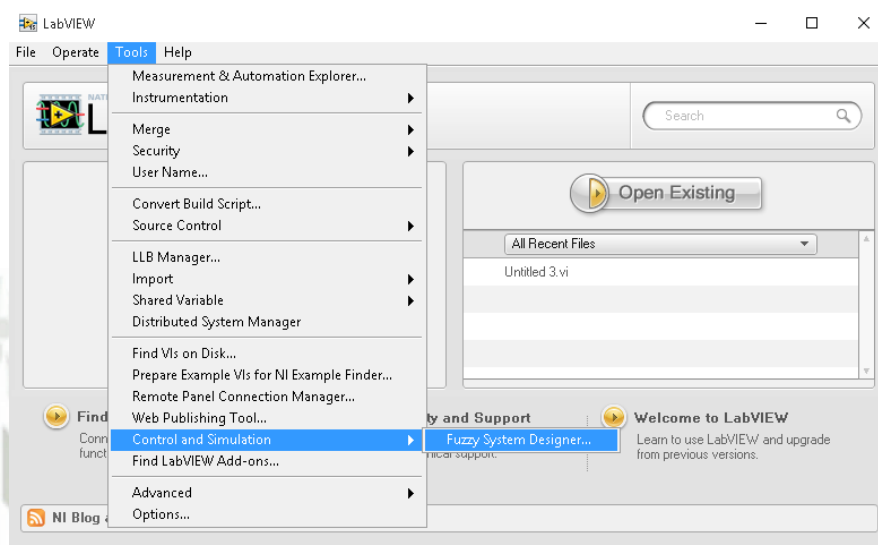


Figura 21. Ventana de ingreso a la opción Fuzzy System Designer del programa LabVIEW Fuente: Elaboración propia.

Esta herramienta nos permite realizar un control difuso con gran facilidad, la ventaja de LabVIEW como ya se mencionó, es que es un entorno gráfico y podremos visualizar las salidas y entradas del controlador difuso.

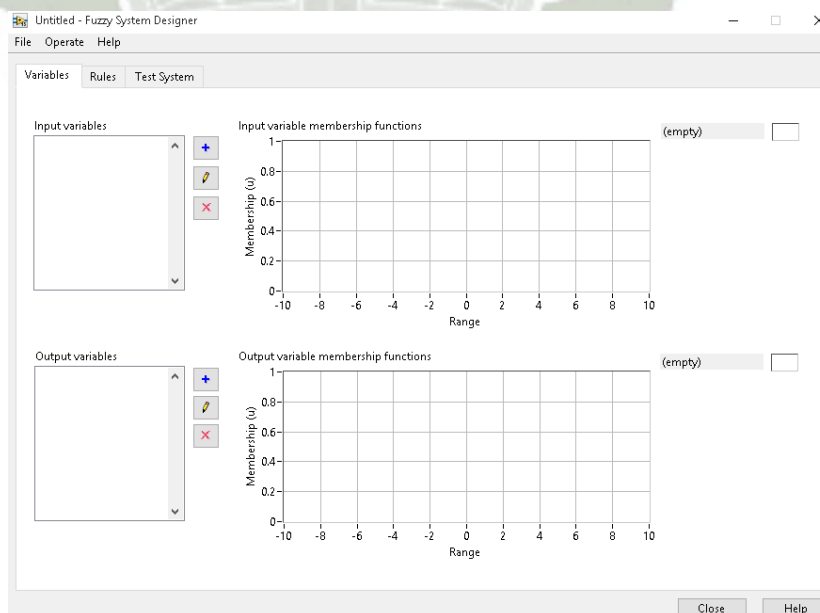


Figura 22. Ventana de inicio de Fuzzy System Designer Fuente: Elaboración propia.

Fuzzy System Designer permite establecer con gran facilidad las variables de entrada y salida, estableciendo el rango de funcionamiento que tendrán, así como la forma de los conjuntos difusos.

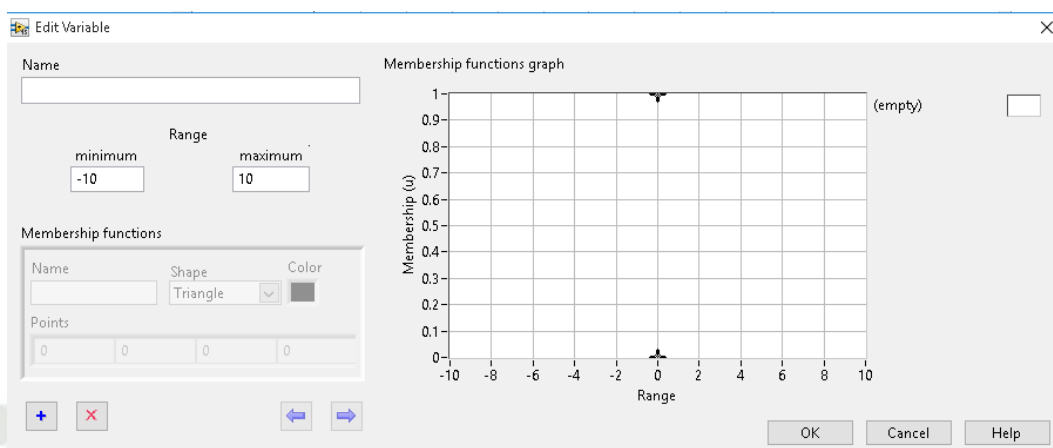


Figura 23. Ventana de diseño de entradas y salidas de Fuzzy System Designer Fuente: Elaboración propia.

Establecidas las variables de entrada y salida se debe indicar las reglas de nuestro sistema, según sea el número de entradas tendremos gran cantidad de reglas que establecer.

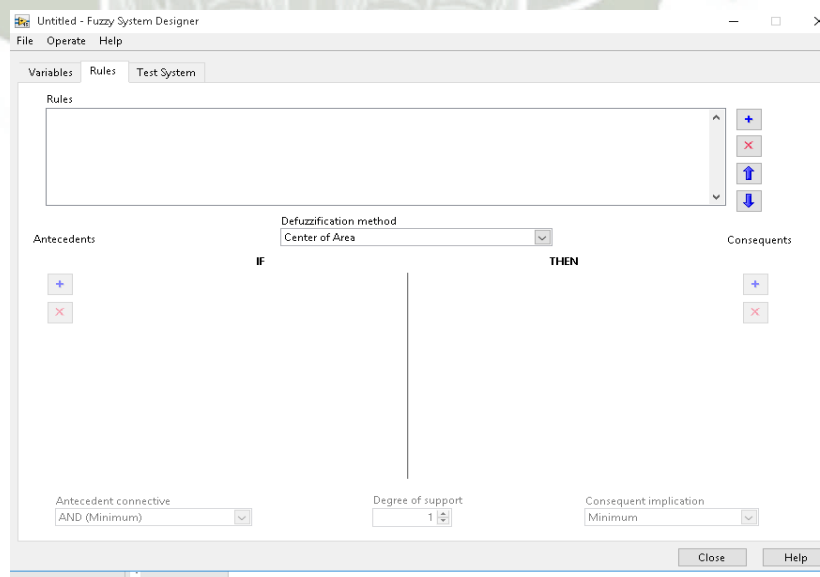


Figura 24. Ventana de introducción de reglas a Fuzzy System Designer. Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, cuando las entradas y salidas ya están establecidas y las reglas del sistema están dadas Fuzzy System Designer nos permite visualizar varios parámetros de manera gráfica, entre estos están las variables del sistema (entradas y salidas), una gráfica en 3D del modelamiento del sistema. A pesar que no tengamos las entradas conectadas a nuestro controlador Fuzzy System Designer nos da la opción de poder simular una variación en las entradas para poder visualizar el comportamiento del sistema (en la gráfica 3D), las reglas que intervienen para estos valores de entrada y el valor que obtendremos finalmente a la salida del controlador.

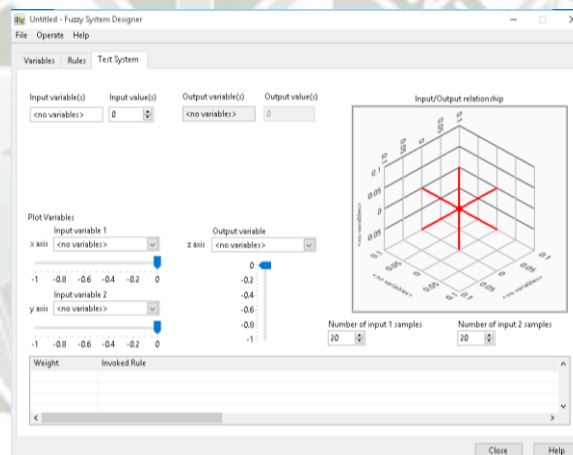


Figura 25. Ventana de simulación del controlador difuso. Fuente: Elaboración propia.

Makerhub linx:

Makerhub linx es una herramienta de las tantas que tienen LabView, para comunicar el controlador Arduino con LabView. “Es un proyecto de fuente abierta de Digilent y está diseñado para facilitar el desarrollo de aplicaciones embebidas usando LabView. LINX incluye VIs para más de 30 de los sensores embebidos más comunes, así como APIs de

hardware agnóstico para tener acceso a periféricos como E/S digitales, E/S analógicas, PWM, I2C, SPI y UART” (National Instrument, s.f.).

Para que nuestro controlador Arduino pueda tener una comunicación con LabView a través de MakerHub LINX se debe seguir una serie de procedimientos:

- ✓ Primero debemos dirigirnos a las herramientas de LabView y luego buscar la herramienta MakerHub – Linx – Linx Firmware Wizard.

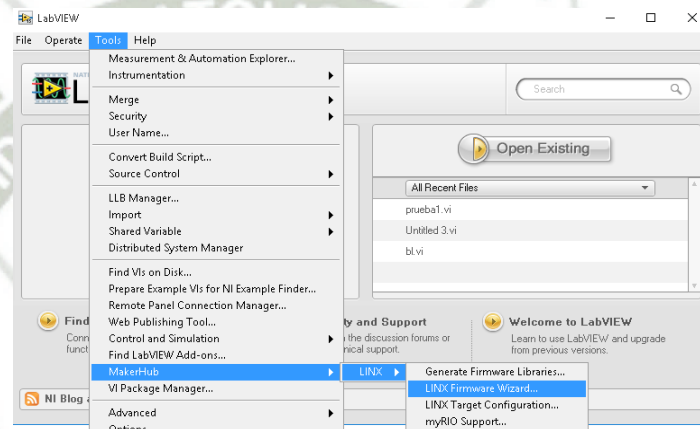


Figura 26. Pantalla de ingreso para el uso de Maker Hub LINX Fuente: Elaboración propia.

- ✓ Una vez ejecutada la opción Linx Firmware Wizard aparecerá una ventana, en esta deberemos elegir el tipo de controlador o familia del dispositivo (en nuestro caso Arduino), seguidamente deberemos elegir el tipo de dispositivo según la familia que nombramos con anterioridad.
- ✓ También debemos seleccionar el método por el cual se va a cargar el Firmware (Serial/USB).



Figura 27. Pantalla principal de MakerHub. Fuente: Elaboración propia.

- ✓ Seleccionados estos parámetros debemos nombrar el puerto COM donde está conectado nuestro controlador.

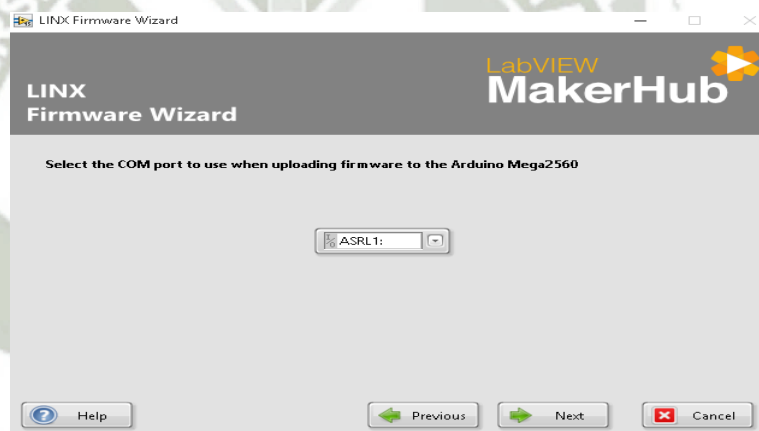


Figura 28. Pantalla de comunicación COM MakerHub. Fuente: Elaboración propia.

Fuzzy controller:

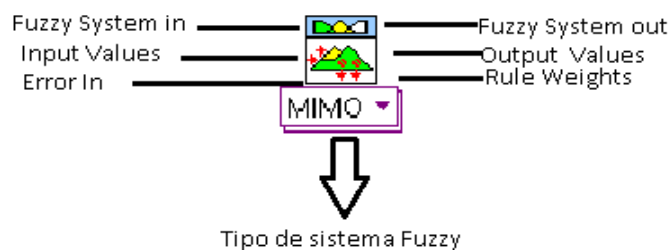


Figura 29. Bloque Fuzzy controller LabVIEW. Fuente: Elaboración propia.

El bloque del controlador fuzzy tiene dos formas de utilizar, la primera es conectando Fl Load Fuzzy System e importando el archivo de nuestro control fuzzy diseñado con anterioridad y visualizar la salida en “Output Values”.

La segunda forma es diseñada el control fuzzy en los bloques de programación, crear una línea y conectarla en “Input Values” donde añadiremos las entradas de la misma forma se debería poner una línea para las reglas en “Rule Weights”.

Fuzzy Controller tiene una opción más que depende de las entradas y las salidas, se debe establecer esto antes de proceder con la ejecución del programa:

- ✓ Automatic
- ✓ Single Input – Single Output (**SISO**)
- ✓ Single Input – Multiple Output (**SIMO**)
- ✓ Multiple Input – Single Output (**MISO**)
- ✓ Multiple Input – Multiple Output (**MIMO**)

Fl load fuzzy system y file path:



Figura 30. Bloque de carga de archivo a Fuzzy controller.
Fuente: Elaboración propia.

Una vez diseñado el controlador fuzzy debemos importar el archivo en nuestro programa para esto se usa los bloques Fl Load Fuzzy System y file path.

2.9 TARJETA ELECTRONICA DE POTENCIA

Si bien en el ítem anterior definimos el controlador que utilizaremos este se encargara de determinar las acciones en los inyectores. El controlador por sí solo no puede realizar esta operación, debido a que el rango de voltaje con el que trabaja es en muchas veces inferior al voltaje que requiere el actuador.

Por esta razón normalmente se trabaja con una tarjeta electrónica adicional llamada comúnmente “circuito de potencia”, este se encarga de convertir las señales emitidas por el controlador, transformándolas en una señal que es lo suficientemente elevada como para activar el actuador que se está empleando.

A continuación, se detallarán los elementos electrónicos que se emplearán en la tarjeta de potencia.

2.9.1. Elementos electrónicos de la tarjeta de potencia

2.9.1.1. Optoacoplador

Un optoacoplador básicamente son dos componentes, un led y un fototransistor.

Cuando se hace circular una corriente a través del led del punto 1-2 (que se ve en la figura 31), este emite una luz que si es lo suficientemente luminosa, satura el transistor permitiendo el paso de la corriente del punto 5-4, caso contrario el punto 5-4 se mantiene abierto.

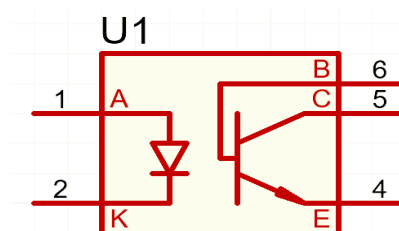


Figura 31. Optoacoplador. Fuente: Elaboración propia.

El objetivo principal cuando se emplea un optoacoplador, es la protección que brinda gracias a su aislamiento eléctrico entre el led y la foto transistor. El único intermediario entre los dos circuitos es la luz emitida por el led.

2.9.1.2. Transistor bipolar

El transistor bipolar básicamente se encargará de activar el inyector, detallaremos las funciones y las características que norman a este componente.

Un transistor es un componente que tiene, básicamente, dos funciones:

- ✓ Deja pasar o corta señales eléctricas a partir de una PEQUEÑA señal de mando (Función con la cual se trabajará en este proyecto).
- ✓ Funciona como un elemento AMPLIFICADOR de señales.

Clasificación de transistores:

Hay dos tipos básicos de transistor:

- ✓ Transistor bipolar o BJT (Bipolar Junction Transistor):

Consta de tres cristales semiconductores (usualmente de silicio) unidos entre sí. Según como se coloquen los cristales hay dos tipos básicos de transistores bipolares.

- ❖ Transistor NPN:

En este caso un cristal P está situado entre dos cristales N. Son los más comunes.

- ❖ Transistor PNP:

En este caso un cristal N está situado entre dos cristales P

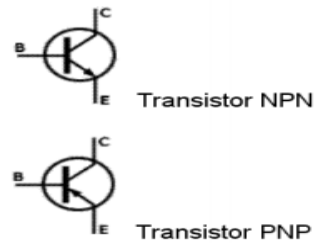


Figura 32. Tipos de transistores. Tomado de “Transistores”, 2008, p 1. Tomado de <https://iesvillalbahervastecnologia.files.wordpress.com/2008/04/transistores.pdf>

El transistor BJT tiene tres terminales:

- Emisor.
- Colector.
- Base.

Ecuaciones del transistor bipolar:

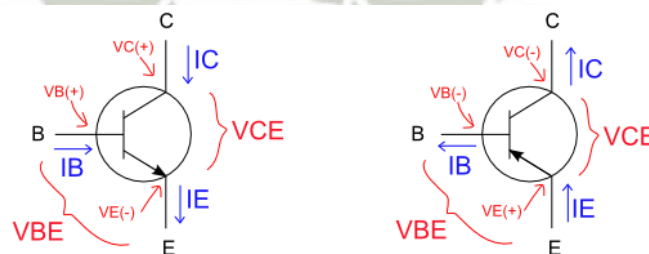
Corrientes:

$$I_E = I_B + I_C$$

I_E : es la corriente que recorre el terminal emisor.

I_C : es la corriente que recorre el terminal colector.

I_B : es la corriente que recorre el terminal base.



Transistor npn

Transistor pnp

Figura 33. Corrientes en el transistor. Tomado de “MrElberni”. Recuperado de <http://mrelbernitutoriales.com/transistor-bjt/transistor-bipolar-conociendolo/>

Debido a que la corriente de base es muy pequeña, se puede decir que la corriente del colector y la del emisor son aproximadamente iguales.

$$I_E \approx I_C$$

$$I_C = \beta \cdot I_B$$

Donde β es una constante que depende de cada transistor llamado ganancia que puede valer entre 50 y 300 (algunos transistores llegan a 1000).

Estados de funcionamiento del transistor:

✓ **Corte:**

En este caso la corriente de base es nula (o casi), es decir:

$$I_B = 0, \text{ por lo tanto, } I_C = \beta \cdot I_B = \beta \cdot 0 = 0: I_C = 0$$

Cuando el transistor está en corte se comporta como un interruptor abierto, la corriente no circula entre sus terminales.

✓ **Activa:**

En este caso el transistor conduce parcialmente siguiendo la segunda expresión:

$$(I_C = \beta \cdot I_B)$$

La corriente del colector es directamente proporcional a la corriente de la base.

Ejemplo: Si $\beta = 100$, la corriente del colector es 100 veces la corriente de la base.

Por eso se dice que el transistor amplifica la corriente.

✓ **Saturación:**

Cuando el transistor se encuentra en saturación el transistor es como un interruptor cerrado, conduce totalmente a través de sus terminales.

“Este estado se alcanza cuando la corriente por la base (I_B) alcanza un valor alto. En este caso la expresión ($I_C = \beta \cdot I_B$) ya no tiene sentido pues, por

mucho que aumente el valor de la corriente de base (I_B), no aumenta el valor de la corriente de colector” (IES Villalba Hérbas).

Para resumir los estados del transistor se detallará un la tabla 7:

Tabla 7. Estados del transistor.

	Corte	Activa	Saturación
V_{CE}	$V_{CE} = V$	$0 < V_{CE} < V$	$V_{CE} \approx 0$
I_C	$I_C \approx I_E = 0$	$I_C = \beta \cdot I_B$ $I_E \approx I_C$	$I_E \approx I_C$
I_B en cualquier caso I_B siempre es una corriente pequeña, es decir, $I_B \ll I_C$	$I_B \approx 0$	$I_B > 0$	I_B con máximo valor
Conducción del transistor	No conduce (se comporta como un interruptor abierto)	Conduce parcialmente	Conduce totalmente (se comporta como un interruptor cerrado)

Nota: Tomado de Tomado de “Transistores”, 2008, p 1. Tomado de <https://iesvillalbahervastecnologia.files.wordpress.com/2008/04/transistores.pdf>

2.9.1.3. Transistor Darlington

El transistor Darlington es básicamente la unión de dos transistores en un solo encapsulado con tres terminales como lo muestra la figura 34. El transistor Darlington tiene como principal característica la ganancia de corriente muy elevada.

La ganancia de corriente se puede aproximar al producto de las ganancias de los transistores que lo conforman:

$$\text{Ganancia de corriente} = A_1 \cong \beta_1 * \beta_2$$

“El circuito Darlington constituye una buena solución cuando se necesita una ganancia de intensidad elevada o una gran impedancia de entrada. Como

la ganancia de intensidad del circuito es tan elevada, se requiere una señal baja de intensidad y esto significa que el generador estará poco cargado por el amplificador Darlington, lo cual es particularmente cierto en los emisor – seguidores Darlington” (Schuler, 1986, p. 117).

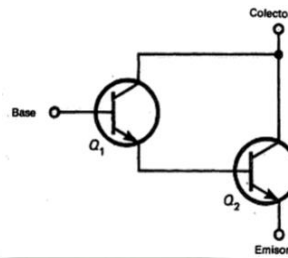


Figura 34. Transistor Darlington. Tomado de “Electrónica, principios y aplicaciones.”, 1986, p. 117. Recuperado de https://books.google.com.pe/books?id=_50ty8YvPHEC&pg=PA117&lpg=PA117&dq=El+circuito+Darlington+constituye+una+buena+soluci%C3%B3n+cuando+se+necesita+una+ganancia+de+intensidad+elevada&source=bl&ots=FSllrDBGXw&sig=6WoZOWN_KPO5MpyCfHsGY6ogEQs&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwiD39fd07rYAhVC6SYKHShADFYQ6AEIJAA#v=onepage&q=El%20circuito%20Darlington%20constituye%20una%20buena%20soluci%C3%B3n%20cuando%20se%20necesita%20una%20ganancia%20de%20intensidad%20elevada&f=false

2.10 SENSORES PARA EL SISTEMA DE INYECCION

2.10.1 Sensor de posición de la mariposa TPS

El sensor de posición de la mariposa es muy importante en el tiempo de inyección del motor, esto debido a que en función de la apertura de la mariposa, se permite o se restringe el paso del volumen de aire, de esto depende el grado de aceleración

“Para controlar a la mariposa, la ECM utiliza un motor eléctrico interconstruido en el cuerpo de aceleración. Cuando se pisa el pedal del acelerador, la ECM entrega más voltaje al motor de la mariposa; entonces esta se abre, y con ello deja pasar más aire. Y cuando se deja de oprimir el pedal, la ECM entrega menos voltaje al motor de la mariposa; y esta se cierra, con lo cual deja pasar menos aire. La ECM necesita una retroalimentación que le señale la posición de la mariposa. Para eso está precisamente el sensor TPS” (Electronica y Servicio, 2014).

2.10.2 Sensor CKP y CMP

Se conoce como los principales sensores para el inicio del proceso de combustión, el sensor CKP llamado también sensor de posición del cigüeñal y el sensor CMP que es el sensor de posición del árbol de levas, ambos sensores como ya se sabe están relacionados entre sí, brindan información muy importante a la ECU del vehículo con el fin de dar a conocer el estado de las válvulas y las posiciones de los pistones, con esto la ECU puede saber el momento exacto para inyectar el combustible en cada cilindro.

“Para saber a fondo qué es un sensor CKP (sensor de posición del cigüeñal) debemos tener claro que es un dispositivo de efecto Hall que reporta el número y secuencias de las ranuras hechas en el plato del convertidor de torsión detectando de esa manera la velocidad del motor y junto con el dato del sensor del árbol de levas (CMP), la computadora ubique la posición del pistón en cada uno de los cilindros, y la generación de chispa e inyección pueda ser sincronizada en el momento que el pistón este en su carrera de compresión”(Avance, s.f.).

Sensor de posición del cigüeñal CKP

“Este tipo de sensor (Sensor de Posición del Cigüeñal) consta de un imán permanente que induce un campo magnético a través del cual se le aplica una corriente de 5v, este campo magnético y esta corriente son interrumpidas cada vez que un diente del volante del cigüeñal pasa cerca del imán del sensor, entonces la señal de 5v es interrumpida varias veces” (Avance, s.f.).

Esta señal de interrupciones genera una señal de frecuencia que es enviada a la ECM del vehículo, este determina las RPM y la posición de los pistones.



Figura 35. Ubicación del sensor CKP. Tomado de “Auto Avance”. Recuperado de <https://www.autoavance.co/blog-tecnico-automotriz/149-que-es-un-sensor-de-posicion-del-ciguenal-sensor-ckp-y-cmp/>

Sensor de posición de eje de levas CPM

“El sensor CMP (sensor de posición del árbol de levas) es un dispositivo de efecto Hall que lee las ranuras hechas en el engrane del eje de levas para que la computadora identifique la posición de las válvulas y sincronice la activación secuencial de los inyectores” (Avance, s.f.).

La ECM emplea la señal proporcionada por el sensor CKP y por el sensor CMP para determina la puesta a punto del motor, y la sincronización de la chispa.



Figura 36. Ubicación del sensor CPM Tomado de “Auto Avance”. Recuperado de <https://www.autoavance.co/blog-tecnico-automotriz/149-que-es-un-sensor-de-posicion-del-ciguenal-sensor-ckp-y-cmp/>

Es importante mencionar que los vehículos modernos cuentan con estos sensores, sin embargo el motor con el se va a trabajar que es el 4AFE de Toyota carece de estos sensores.

Nos apoyaremos en la experiencia del trabajo “Análisis y diseño de un módulo de control electrónico (ECM) para la optimización de la potencia de un motor de combustión interna Toyota 4AFE” el cual ya trabajo con este módulo optando por una gran alternativa.

“Al momento de seleccionar el dispositivo que se comportara como CKP Y CMP, tuvimos varias alternativas que son muy conocidos en la electrónica y tomando en cuenta que es un proyecto prototipo y no sobredimensionar en costos con una facilidad de montaje y rápida aplicación se consideró un sensor óptico emisor infrarrojo y fototransistor como receptor, estos dispositivos son muy comerciales y fáciles de montar al alcance de todos” (Calsin, Rodríguez (2015)).

Dicho componente es el CNY 70 el cual demostró tener una gran versatilidad de uso.

Sensor infrarrojo CNY70

El sensor CNY70 es un sensor que se basa en la emisión de una luz y la recepción de la misma, para ello cuenta con un emisor de luz que apunta en la misma dirección que el receptor, el funcionamiento del CNY70 se basa en la emisión de un haz de luz y según sea el objeto o el medio donde esta luz incida, el reflejo tendrá una intensidad de luz determinada que será captada por el receptor.

Tiene 4 pines de conexión, 2 son alimentación de 5V, uno de ellos es para el ánodo del emisor el cátodo se conecta a una resistencia de bajo valor aproximadamente 220 ohm, los otros dos pines corresponden al colectivo y al emisor del receptor (la resistencia para el receptor es elevada aproximadamente 10kohm).

El módulo 4AFE al cual se le realizaran las pruebas, tiene montado este sensor en el eje del cigüeñal y en el árbol de levas, como se sabe, 2 vueltas del cigüeñal es 1 vuelta del eje de levas, así mismo media vuelta (Giro de 180°) del cigüeñal equivale a 1 carrera lo que conllevaría a deducir que $1/4$ de vuelta del eje de levas (Giro de 90°) equivale a 1 carrera.

Sabiendo esto y que va a ver un punto en el cual van a coincidir se marca el eje de cigüeñal y el eje de levas en ese punto, a esto se le conoce como puesta a punto.



*Figura 37.*Eje de cigüeñal marcado para la puesta a punto. Fuente: Elaboración propia.



*Figura 38.*Sensor CNY70 montado sobre el eje de cigüeñal. Fuente: Elaboración propia.

2.10.3 Sensor de presión absoluta MAP

“Los automóviles que no disponen de medidor de flujo o masa de aire (MAF), en su sistema de inyección electrónica para que el módulo electrónico de control (ECU) calcule la cantidad de combustible, normalmente se instala un sensor MAP (medidor de presión absoluta de múltiple) para que el módulo de control electrónico, conjuntamente con la información del sensor de temperatura y la colaboración de la posición de mariposa, calcule la cantidad de combustible a inyectar y sean posibles las correcciones de avance de encendido” (Paspuezán & Sanchez, 2012, p.14).



Figura 39. Ubicación del sensor MAP. Fuente: Elaboración

La carga del motor está en función de la presión que se encuentra en el múltiple de admisión. Este dato es básico para calcular el tiempo de inyección de combustible, cuando encender la chispa, etc.

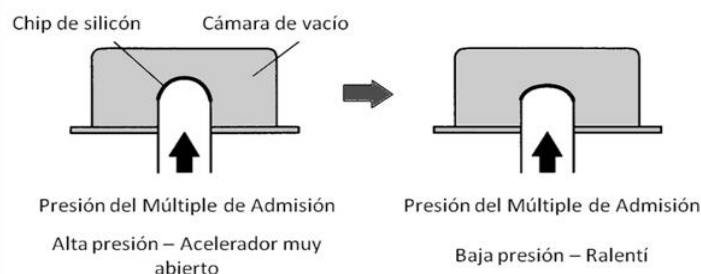


Figura 40. Trabajo del chip del sensor MAP. Tomado de E-Auto. Recuperado de http://e-auto.com.mx/manual_detalle.php?manual_id=221

“Principio de funcionamiento: El sensor MAP usa un vacío perfecto dentro de la cara del chip de silicón como su presión de referencia. La diferencia de presión entre el vacío perfecto y los cambios de presión del múltiple de admisión, al otro lado del chip, hacen que la señal hacia la ECU cambie. Los sensores MAP tienen un principio de funcionamiento bastante básico, por contar con un componente central de un sensor MAP, de un chip de silicón que se estirará, flexionará y volverá a su forma original; según ocurran los cambios de presión y vacío, con la aceleración y desaceleración del motor” (Paspuezán & Sanchez, 2012, p.16).

2.11 CONTROLADOR AFR STAG

“El controlador STAG AFR para sensores de oxígeno de banda ancha se ha diseñado para determinar la relación aire-combustible (AFR) para un motor de combustión interna, basado en la medición de oxígeno en los gases de escape” (STAG, s.f.).

El kit AFR STAG puede ser empleado para diferentes combustibles:

- ✓ GLP
- ✓ GNC
- ✓ Gasolina
- ✓ Diésel

Para esto el kit cuenta con un sensor de oxígeno de banda ancha, este permite un ajuste fino en la mezcla aire combustible, con esto se puede garantizar la máxima potencia del motor manteniendo un consumo adecuado del combustible.

Gracias a la medición rápida que se puede obtener con el kit AFR STAG se puede obtener valores de λ en condiciones estables como transitorias.

El kit STAG AFR se alimenta con 12V del vehículo, a través de la cigarrera del mismo, además se conecta mediante el puerto USB de la PC, es necesario además de esto, instalar el software STAG AFR en la PC para poder establecer la comunicación.

El Kit STAG AFR se puede aplicar en las siguientes operaciones:

- ✓ Ajuste del combustible para motores de combustión interna carburados o con inyección electrónica.
- ✓ Ajuste del combustible para sistemas de autogas, para 5ta o 3era generación.
- ✓ Patrón de comparación para verificar que el sensor de oxígeno que trae el vehículo de fábrica está en condición operativa.



Figura 41. Controlador AFR STAG. Tomado de STAG. Recuperado de <http://www.ac.com.pl/products-autogas/interfaces/stag-afr/337/>



Figura 42. Sensor de medida Kit AFR. . Fuente: Elaboración propia.

El Kit AFR como se menciona tiene un software compatible con Windows, dicho software es muy versátil debido a que puede analizar gasolina sin plomo, diésel, GLP / GNC, gas natural, metanol y etanol.

Para cada uno de los combustibles el Kit tiene un valor de mezcla estequiometría definido.

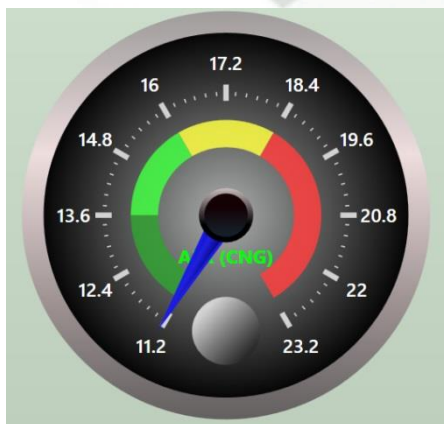
✓ **Gasolina:**



Mezcla Estequimetrica = 14.7

Figura 43. Mezcla estequiometría gasolina. . Fuente: Elaboración propia.

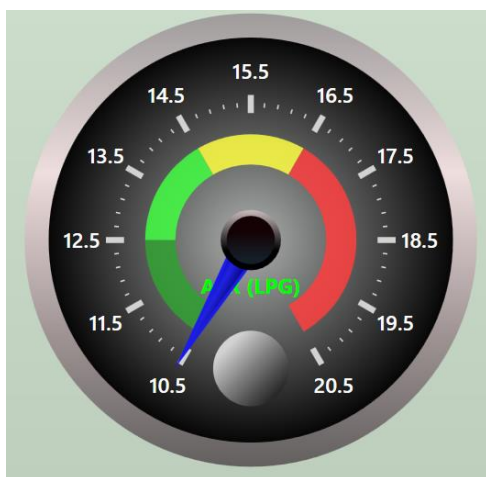
✓ **Gas Natural Comprimido:**



Mezcla Estequimetrica = 17.2

Figura 44. Mezcla estequiometría GNV. . Fuente: Elaboración propia.

✓ GLP:



Mezcla Estequimetrica = 15.5

Figura 45. Figura 43. Mezcla estequiometria GLP. .
Fuente: Elaboración propia.



CAPITULO III

DISEÑO DE INGENIERIA

3.1 DISEÑO DE CONTROL DIFUSO

Para establecer un método de control difuso, primero debemos tener un conocimiento previo de las variables de entrada como de las variables de salida de nuestro sistema.

Si bien es cierto, nos basaremos en un método de aproximación que se usa comúnmente para controlar procesos complejos o de poco entendimiento, también es necesario conocer el comportamiento del sistema para establecer reglas básicas de funcionamiento.

Primero debemos tener en claro que elementos intervienen en la entrada y salida de nuestro controlador difuso:

Elementos de entrada:

- ✓ Sensor MAP.

Elementos de salida:

- ✓ Tiempo de inyección de Gasolina.
- ✓ Tiempo de inyección para Biometano.

Definidos estos ítems se procedió a registrar unos valores de dichos ítems según la ECU original del motor 4AFE (basándonos en los datos de la ECU original del motor tendremos unos datos más fiable para tener una base de valores).

En la tabla 8 se muestran 3 columnas INY (tiempo de inyección en milisegundos), estos valores son tomados a diferentes valores del sensor MAP. También se muestra la columna PROM que es el resultado de las 3 columnas ya mencionadas. Cabe resaltar que estos valores son extraídos del motor 4AFE mediante el software AC STAG 0.25.15.

Tabla 8. Valores de sensores y tiempo de inyección bases para el control.

MAP (Volt)	MAP (bar)	INY1 (ms)	INYE2 (ms)	INY3 (ms)	PROM (ms)
1.23	0.24	2.19	2.09	2.24	2.17
1.27	0.25	2.25	2.1	2.19	2.18
1.28	0.26	2.25	2.28	2.37	2.30
1.30	0.27	2.37	2.26	2.4	2.34
1.34	0.28	2.42	2.39	2.35	2.38
1.37	0.29	2.46	2.42	2.44	2.44
1.39	0.30	2.44	2.52	2.45	2.47
1.41	0.31	2.54	2.6	2.58	2.57
1.44	0.32	2.62	2.68	2.6	2.63
1.48	0.33	2.75	2.8	2.9	2.81

Nota: Valores reales del tiempo de inyección del motor 4AFE registrados mediante el software AC STAG 0.25.15.
Fuente: Elaboración propia.

- **Tiempo de inyección muestra 1:**

En la figura 46 muestra el tiempo de inyección INY1 de la tabla 8 a diferentes valores del sensor MAP.

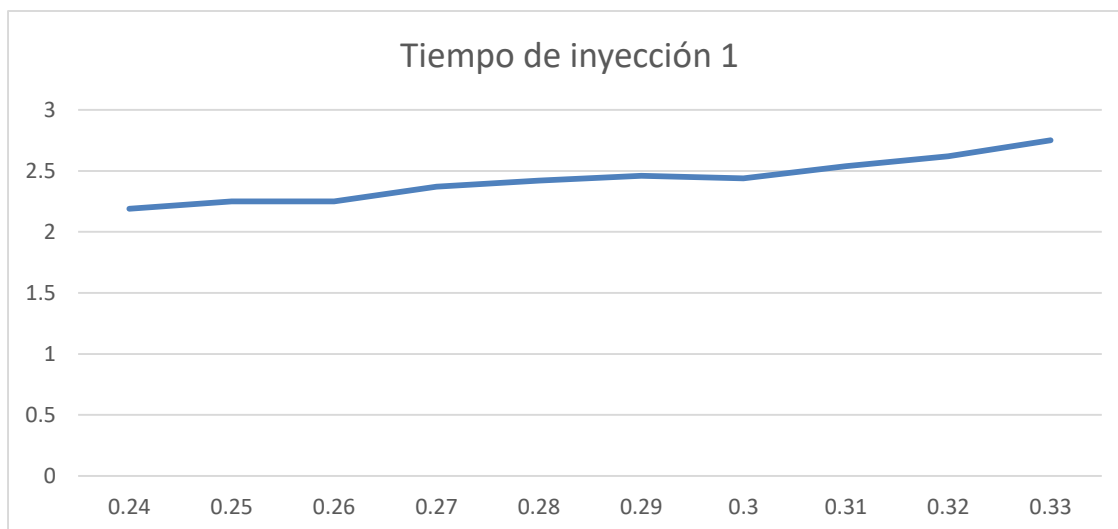


Figura 46. Grafica de la muestra 1 del tiempo de inyección.
Fuente: Elaboración propia.

- **Tiempo de inyección muestra 2:**

En la figura 47 muestra el tiempo de inyección INY2 de la tabla 8 a diferentes valores del sensor MAP.



Figura 47. Grafica de la muestra 2 del tiempo de inyección.
Fuente: Elaboración propia.

- **Tiempo de inyección muestra 3:**

En la figura 48 muestra el tiempo de inyección INY3 de la tabla 8 a diferentes valores del sensor MAP.

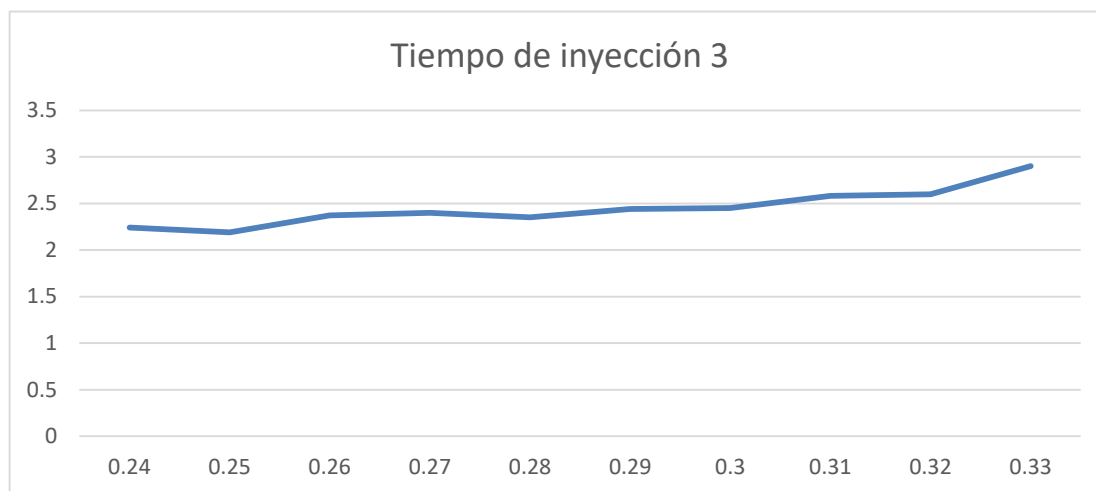


Figura 48. Grafica de la muestra 3 del tiempo de inyección.
Fuente: Elaboración propia.

- **Tiempo de inyección promedio:**

En la figura 49 muestra el tiempo de inyección PROM de la tabla 8 a diferentes valores del sensor MAP.

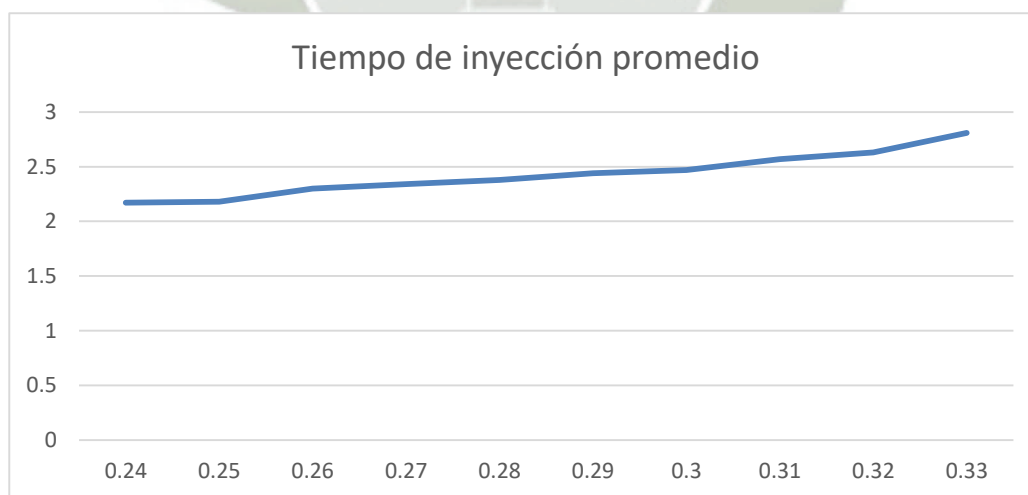


Figura 49. Grafica del promedio de los tiempos de inyección.
Fuente: Elaboración propia.

3.1.1 Lógica de control

De los valores obtenidos, podemos observar que la variación del tiempo de inyección es consecuencia del sensor MAP, esto debido a que cuando el motor no tiene carga el voltaje MAP es constante, aproximadamente 0.25 bar. Sin embargo, cuando aumenta la carga del motor, el tiempo de inyección aumenta por un determinado tiempo, luego retorna al tiempo de inyección base 2.2 ms, no se mantienen constante.

Si aceleramos el vehículo de forma continua y lenta, la presión se mantendrá casi constante (0.25bar) mientras que el tiempo de inyección se mantiene en 2.2 ms aproximadamente. Por lo contrario si aceleramos el vehículo de manera brusca, el voltaje MAP se elevara a valores cercanos a 5V. Para mantener el motor estable es necesario variar el espacio que hay entre la activación de cada inyector.

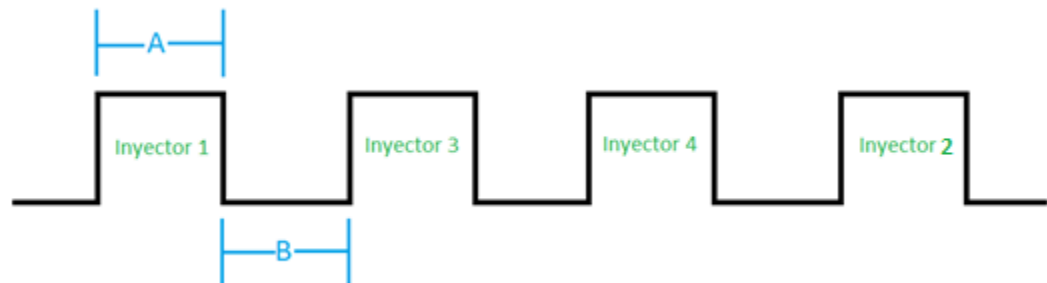


Figura 50. Esquema del tiempo de inyección. Fuente: Elaboración propia.

$$A = \text{Tiempo de Inyeccion (ms)}$$

$$B = \text{Espacio base entre la activacion de cada inyector (ms)}$$

Tenemos que tener en consideración que en el arranque, el sensor MAP es alto, por lo que se tiene que tener en cuenta eso, para que al inicio el tiempo de inyección sea mayor a cuando está en ralentí.

Entonces podemos definir que la variación en el tiempo de inyección del motor varía en función a la carga de este, registrado por el sensor MAP. La variación entre la activación de cada inyector varía en función al sensor de posición de aceleración TPS.

3.1.2 Función de membresía de entrada

Sensor de presión absoluta del múltiple (MAP):

El sensor MAP es alimentado con 5V.

Los valores principales de dicho sensor son:

- ❖ Ralentí (0.25 bar = 1.3 V)
- ❖ Acelerado (1bar = 5V)

Para tener mejor resolución se dividió la función de membresía en 5 conjuntos:

- ✓ MAP 1
- ✓ MAP 2
- ✓ MAP 3
- ✓ MAP 4
- ✓ MAP 5

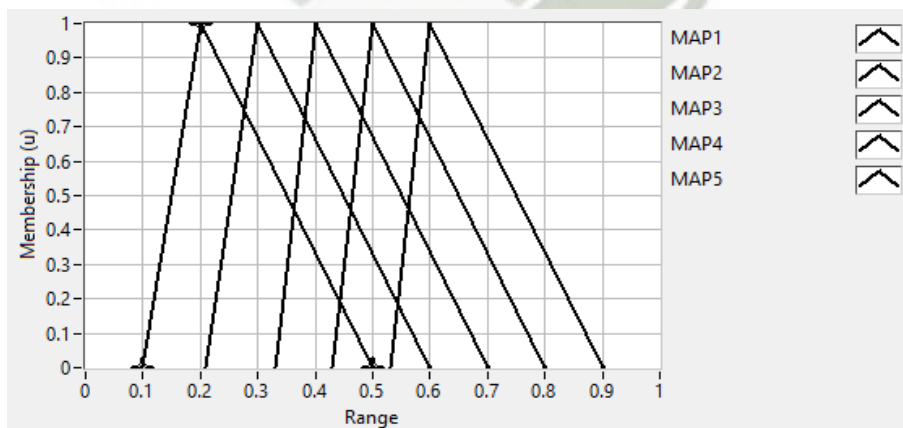


Figura 51. Función de membresía sensor MAP. Fuente: Elaboración propia.

3.1.3 Funciones de membresía de salida

Tiempo de inyección de Gasolina:

Este tiempo tiene una escala de 0 – 8 milisegundos (que es básicamente un tiempo base de los vehículos de transporte ciclo Otto).

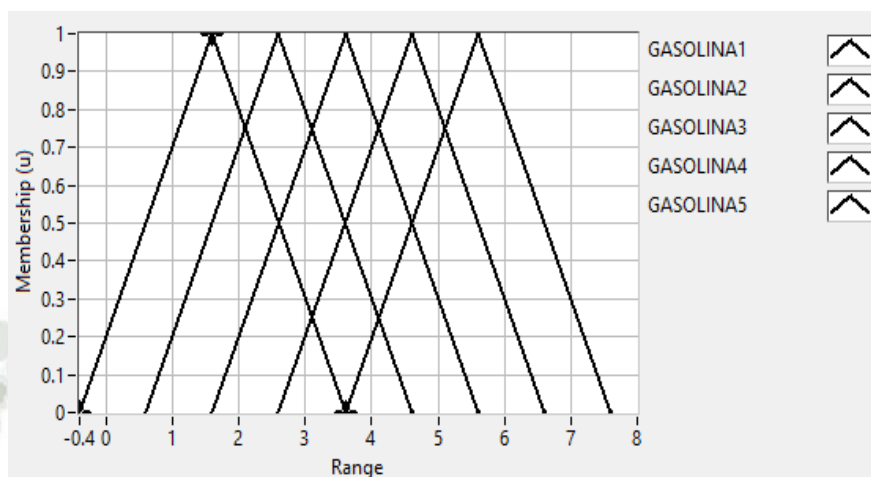


Figura 52. Función de membresía del tiempo de inyección de gasolina. Fuente: Elaboración propia.

Tiempo de inyección de Biometano:

Este tiempo tiene una escala de 0 – 16 milisegundos (basado en las pruebas realizadas el tiempo de inyección puede llegar a ser hasta el doble del tiempo de inyección de gasolina).

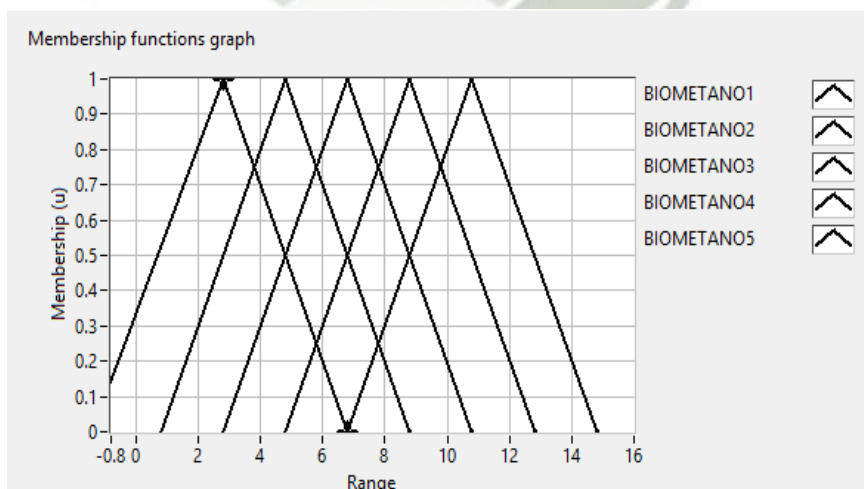


Figura 53. Función de membresía del tiempo de inyección del biometano. Fuente: Elaboración propia.

3.1.4 Reglas de control Fuzzy

Las reglas de control son las que rigen el sistema, fueron necesarias 5 reglas para poder controlar el sistema de inyección, tanto para el tiempo de inyección en gasolina como para el de biometano.

La diferencia entre ambos es el mayor tiempo de inyección cuando se trabaja con biometano que es el doble del tiempo de inyección de gasolina.

- 1) IF MAP = MAP1 THEN GASOLINA = GASOLINA1 ALSO
BIOMETANO = BIOMETANO1
- 2) IF MAP = MAP2 THEN GASOLINA = GASOLINA2 ALSO
BIOMETANO = BIOMETANO2
- 3) IF MAP = MAP3 THEN GASOLINA = GASOLINA3 ALSO
BIOMETANO = BIOMETANO3
- 4) IF MAP = MAP4 THEN GASOLINA = GASOLINA4 ALSO
BIOMETANO = BIOMETANO4
- 5) IF MAP = MAP5 THEN GASOLINA = GASOLINA5 ALSO
BIOMETANO = BIOMETANO5

1. IF 'MAP' IS 'MAP1' THEN 'GASOLINA' IS 'GASOLINA1' ALSO 'BIOMETANO' IS 'BIOMETANO1'
2. IF 'MAP' IS 'MAP2' THEN 'GASOLINA' IS 'GASOLINA2' ALSO 'BIOMETANO' IS 'BIOMETANO2'
3. IF 'MAP' IS 'MAP3' THEN 'GASOLINA' IS 'GASOLINA3' ALSO 'BIOMETANO' IS 'BIOMETANO3'
4. IF 'MAP' IS 'MAP4' THEN 'GASOLINA' IS 'GASOLINA4' ALSO 'BIOMETANO' IS 'BIOMETANO4'
5. IF 'MAP' IS 'MAP5' THEN 'GASOLINA' IS 'GASOLINA5' ALSO 'BIOMETANO' IS 'BIOMETANO5'

Figura 54. Reglas del control difuso Fuente: Elaboración propia.

3.1.5 Código de control Fuzzy

```
//CONTROL DIFUSO PARA EL MANEJO DEL TIEMPO DE INYECCION DE UN
MOTOR TOYOTA 4AFE
//LLAMADO A LA LIBRERIA PARA MEDIR LAS RPM DEL MOTOR
//PARTE 1
//LLAMADO A LA LIBRERIA eFFL
#include <FuzzyRule.h>
#include <FuzzyComposition.h>
#include <Fuzzy.h>
#include <FuzzyRuleConsequent.h>
#include <FuzzyOutput.h>
#include <FuzzyInput.h>
#include <FuzzyIO.h>
#include <FuzzySet.h>
#include <FuzzyRuleAntecedent.h>
//PARTE 2
//PINES DE ENTRADA Y SALIDA
//Sensores del motor Toyota 4AFE
const int ENCENDIDO=30;
const int SELECTOR=28;
const int ACT=41;
const int LEVAS=22;
const int CIGUENAL=24;
const int TPS=A1;
const int MAP=A2;
const int RPM=A3;
//Salidas (Inyectores )
const int INYECTOR1=37;
const int INYECTOR2=35;
const int INYECTOR3=33;
const int INYECTOR4=31;
const int INYECTORFRIO=39;
//PARTE 3
//Variables de estado del sistema
float TIEMPOBASEGASOLINA=2.3;
float TIEMPOBASEBIOMETANO=3.7;
float TIEMPODEINYECCION;
float fuzzyGASOLINA;
float fuzzyBIOMETANO;
int ECIGUENAL;
```

```

int ELEVAS;
int ESELECTOR;
int EENCENDIDO;
int rpm;
int z=0;
int i=0;
int g=0;
int CONTFUZZY=0;
int CONTREINICIO=0;
float vTPS ;
float vMAP ;
float eTPS ;
float eMAP ;
float labTPS;
float labMAP;
float labTPS1;
float labMAP1;
float ESPACIOGASOLINA;
float ESPACIO;
float ESPACIOGASOLINA1;
float ESPACIOBIOMETANO;
float ESPACIOBIOMETANO1;
//PARTE 4
//INICIALIZAMOS LA LIBRERIA eFFL
Fuzzy* fuzzy = new Fuzzy();
void setup()
{
    //PARTE 5
    //ESTABLECEMOS LA VELOCIDAD DE COMUNICACION (Para enviar datos a
    LABVIEW)
    Serial.begin(9600);
    pinMode(TPS,INPUT);
    pinMode(MAP,INPUT);
    pinMode(LEVAS,INPUT);
    pinMode(CIGUENAL,INPUT);
    pinMode(SELECTOR,INPUT);
    pinMode(ENCENDIDO,INPUT);
    pinMode(INYECTOR1,OUTPUT);
    pinMode(ACT,OUTPUT);
    pinMode(INYECTOR2,OUTPUT);

```

```
pinMode(INYECTOR3,OUTPUT);
pinMode(INYECTOR4,OUTPUT);
pinMode(INYECTORFRIO,OUTPUT);
//PARTE 6
//ENTRADA DEL SISTEMA DIFUSO
FuzzyInput* MAP = new FuzzyInput(1);
FuzzySet* MAP1 = new FuzzySet(0.1, 0.2, 0.2, 0.5);
MAP->addFuzzySet(MAP1);
FuzzySet* MAP2 = new FuzzySet(0.2, 0.3, 0.3, 0.6);
MAP->addFuzzySet(MAP2);
FuzzySet* MAP3 = new FuzzySet(0.3, 0.4, 0.4, 0.7);
MAP->addFuzzySet(MAP3);
FuzzySet* MAP4 = new FuzzySet(0.4, 0.5, 0.5, 0.8);
MAP->addFuzzySet(MAP4);
FuzzySet* MAP5 = new FuzzySet(0.5, 0.6, 0.6, 0.9);
MAP->addFuzzySet(MAP5);
fuzzy->addFuzzyInput(MAP); //
//SE AGREGA LA ENTRADA DE TPS FUSIFICADA

//SALIDAS DEL SISTEMA DIFUSO
FuzzyOutput* GASOLINA = new FuzzyOutput(1);
FuzzySet* GASOLINA1 = new FuzzySet(-0.1, 1.9, 1.9, 3.9);
GASOLINA->addFuzzySet(GASOLINA1);
FuzzySet* GASOLINA2 = new FuzzySet(0.9, 2.9, 2.9, 4.9);
GASOLINA->addFuzzySet(GASOLINA2);
FuzzySet* GASOLINA3 = new FuzzySet(1.9, 3.9, 3.9, 5.9);
GASOLINA->addFuzzySet(GASOLINA3);
FuzzySet* GASOLINA4 = new FuzzySet(2.9, 4.9, 4.9, 6.9);
GASOLINA->addFuzzySet(GASOLINA4);
FuzzySet* GASOLINA5 = new FuzzySet(3.9, 5.9, 5.9, 7.9);
GASOLINA->addFuzzySet(GASOLINA5);
fuzzy->addFuzzyOutput(GASOLINA);
//SE AGREGA LA SALIDA GASOLINA FUSIFICADA

FuzzyOutput* BIOMETANO = new FuzzyOutput(2);
FuzzySet* BIOMETANO1 = new FuzzySet(-1.4, 2.8, 2.8, 6.8);
BIOMETANO->addFuzzySet(BIOMETANO1);
FuzzySet* BIOMETANO2 = new FuzzySet(0.8, 4.8, 4.8, 8.8);
BIOMETANO->addFuzzySet(BIOMETANO2);
FuzzySet* BIOMETANO3 = new FuzzySet(2.8, 6.8, 6.8, 10.8);
```



```
BIOMETANO->addFuzzySet(BIOMETANO3);
FuzzySet* BIOMETANO4 = new FuzzySet(4.8, 8.8, 8.8, 12.8);
BIOMETANO->addFuzzySet(BIOMETANO4);
FuzzySet* BIOMETANO5 = new FuzzySet(6.8,10.8, 10.8, 14.8);
BIOMETANO->addFuzzySet(BIOMETANO5);
fuzzy->addFuzzyOutput(BIOMETANO);
```

//SE AGREGA LA SALIDA BIOMETANO FUSIFICADA

//PARTE 7

//REGLAS DEL SISTEMA DIFUSO

// REGLA 1:

```
FuzzyRuleAntecedent* ifMAPMAP1 = new FuzzyRuleAntecedent();
ifMAPMAP1->joinSingle(MAP1);
FuzzyRuleConsequent* thenGASOLINAGASOLINA1ANDBIOMETANOBIOMETANO1 =
new FuzzyRuleConsequent();
thenGASOLINAGASOLINA1ANDBIOMETANOBIOMETANO1-
>addOutput(GASOLINA1);
thenGASOLINAGASOLINA1ANDBIOMETANOBIOMETANO1-
>addOutput(BIOMETANO1);
FuzzyRule* fuzzyRule01 = new FuzzyRule(1,ifMAPMAP1,
thenGASOLINAGASOLINA1ANDBIOMETANOBIOMETANO1);
fuzzy->addFuzzyRule(fuzzyRule01);
```

// REGLA 2:

```
FuzzyRuleAntecedent* ifMAPMAP2 = new FuzzyRuleAntecedent();
ifMAPMAP2->joinSingle(MAP2);
FuzzyRuleConsequent* thenGASOLINAGASOLINA2ANDBIOMETANOBIOMETANO2 =
new FuzzyRuleConsequent();
thenGASOLINAGASOLINA2ANDBIOMETANOBIOMETANO2-
>addOutput(GASOLINA2);
thenGASOLINAGASOLINA2ANDBIOMETANOBIOMETANO2-
>addOutput(BIOMETANO2);
FuzzyRule* fuzzyRule02 = new FuzzyRule(2,ifMAPMAP2,
thenGASOLINAGASOLINA2ANDBIOMETANOBIOMETANO2);
fuzzy->addFuzzyRule(fuzzyRule02);
```

// REGLA 3:

```
FuzzyRuleAntecedent* ifMAPMAP3 = new FuzzyRuleAntecedent();
ifMAPMAP3->joinSingle(MAP3);
FuzzyRuleConsequent* thenGASOLINAGASOLINA3ANDBIOMETANOBIOMETANO3 =
new FuzzyRuleConsequent();
```

```

thenGASOLINAGASOLINA3ANDBIOMETANOBIOMETANO3-
>addOutput(GASOLINA3);
thenGASOLINAGASOLINA3ANDBIOMETANOBIOMETANO3-
>addOutput(BIOMETANO3);
FuzzyRule* fuzzyRule03 = new FuzzyRule(3,ifMAPMAP3,
thenGASOLINAGASOLINA3ANDBIOMETANOBIOMETANO3);
fuzzy->addFuzzyRule(fuzzyRule03);
// REGLA 4:
FuzzyRuleAntecedent* ifMAPMAP4 = new FuzzyRuleAntecedent();
ifMAPMAP4->joinSingle(MAP4);
FuzzyRuleConsequent* thenGASOLINAGASOLINA4ANDBIOMETANOBIOMETANO4 =
new FuzzyRuleConsequent();
thenGASOLINAGASOLINA4ANDBIOMETANOBIOMETANO4-
>addOutput(GASOLINA4);
thenGASOLINAGASOLINA4ANDBIOMETANOBIOMETANO4-
>addOutput(BIOMETANO4);
FuzzyRule* fuzzyRule04 = new FuzzyRule(4,ifMAPMAP4,
thenGASOLINAGASOLINA4ANDBIOMETANOBIOMETANO4);
fuzzy->addFuzzyRule(fuzzyRule04);
// REGLA 5:
FuzzyRuleAntecedent* ifMAPMAP5 = new FuzzyRuleAntecedent();
ifMAPMAP5->joinSingle(MAP5);
FuzzyRuleConsequent* thenGASOLINAGASOLINA5ANDBIOMETANOBIOMETANO5 =
new FuzzyRuleConsequent();
thenGASOLINAGASOLINA5ANDBIOMETANOBIOMETANO5-
>addOutput(GASOLINA5);
thenGASOLINAGASOLINA5ANDBIOMETANOBIOMETANO5-
>addOutput(BIOMETANO5);
FuzzyRule* fuzzyRule05 = new FuzzyRule(5,ifMAPMAP5,
thenGASOLINAGASOLINA5ANDBIOMETANOBIOMETANO5);
fuzzy->addFuzzyRule(fuzzyRule05); }
void loop()
{
//PARTE 8
ESELECTOR=digitalRead(SELECTOR);
EENCENDIDO=digitalRead(ENCENDIDO);
ECIGUENAL=digitalRead(CIGUENAL);
ELEVAS=digitalRead(LEVAS);
digitalWrite(ACT,LOW);
//PARTE 9

```

```

if (EENCENDIDO==1)
{
for (int z=0; i <1; i++)
{
//PARTE 10
digitalWrite(INYECTORFRIO,HIGH);
delay(1000);
digitalWrite(INYECTORFRIO,LOW);
}
//PARTE 11
if((ELEVAS==1)&&(ECIGUENAL==1))
{
while(EENCENDIDO==1)
{
//PARTE 12
EENCENDIDO=digitalRead(ENCENDIDO);
ESELECTOR=digitalRead(SELECTOR);
vTPS=analogRead(TPS);
vMAP=analogRead(MAP);
eTPS=vTPS/204.6;
eMAP=vMAP/1023;

//PART 13
//ENVIAMOS LOS VALORES ESCALADOS A VOLTIOS AL CONTROL DIFUSO
fuzzy->setInput(1, eMAP);
//EJECUTA LA FUZIFICACION
fuzzy->fuzzify();
//EJECUTA LA DEFUZIFICACION PARA LA SALIDA
fuzzyGASOLINA=fuzzy->defuzzify(1);
fuzzyBIOMETANO=fuzzy->defuzzify(2);
//PARTE 14
//CALCULO DEL ESPACIO ENTRE INYECTORES
if(ESELECTOR==0)
{
if(eTPS>0.06)
{
ESPACIOGASOLINA=(1.875-(eTPS*0.7));
ESPACIO=ESPACIOGASOLINA;
}
}
}
}

```



```

else
{
    ESPACIOGASOLINA=(12-(eTPS*168.77));
    ESPACIO=ESPACIOGASOLINA;

}
}
if (ESELECTOR==1)
{
    if(eTPS>0.06)
    {
        ESPACIOBIOMETANO=(0.5-(eTPS*0.7));
        ESPACIO=ESPACIOBIOMETANO;

    }
    else
    {
        ESPACIOBIOMETANO=(8.5-(eTPS*136.38));
        ESPACIO=ESPACIOBIOMETANO;
    }
}

// PARTE 15
//ESTABLECEMOS UN TIEMPO PARA QUE EL MOTOR SE ESTABILICE
if (CONTFUZZY>=200)
{
    if (ESELECTOR==0)
    {
        digitalWrite(ACT,LOW);
        if(fuzzyGASOLINA<2.2)
        {
            TIEMPODEINYECCION=TIEMPOBASEGASOLINA;
        }
        else
        {
            TIEMPODEINYECCION=fuzzyGASOLINA;
            Serial.println("GASOLINA");
        }
    }
    else

```

```

{
    if(g>=30)
    {
        digitalWrite(ACT,HIGH);
        if(fuzzyBIOMETANO<3.4)
        {
            TIEMPODEINYECCION=TIEMPOBASEBIOMETANO;
        }
    }
    else
    {
        TIEMPODEINYECCION=TIEMPOBASEBIOMETANO;
        Serial.println("BIOMETANO");
    }
}
else
{
    digitalWrite(ACT,HIGH);
    TIEMPODEINYECCION=TIEMPOBASEBIOMETANO;
    g=g+1;
}
}
else
{
    if (ESELECTOR==0)
    {
        digitalWrite(ACT,LOW);
        CONTFUZZY=CONTFUZZY+1;
        TIEMPODEINYECCION=TIEMPOBASEGASOLINA;
    }
    else
    {
        digitalWrite(ACT,HIGH);
        CONTFUZZY=CONTFUZZY+1;
        TIEMPODEINYECCION=TIEMPOBASEBIOMETANO;
    }
}
}

//PARTE 16
Serial.println(TIEMPODEINYECCION);

```

```

digitalWrite(INYECTOR1,HIGH);
delay(TIEMPODEINYECCION);
digitalWrite(INYECTOR1,LOW);
delay(ESPACIO);
digitalWrite(INYECTOR3,HIGH);
delay(TIEMPODEINYECCION);
digitalWrite(INYECTOR3,LOW);
delay(ESPACIO);
digitalWrite(INYECTOR4,HIGH);
delay(TIEMPODEINYECCION);
digitalWrite(INYECTOR4,LOW);
delay(ESPACIO);
digitalWrite(INYECTOR2,HIGH);
delay(TIEMPODEINYECCION);
digitalWrite(INYECTOR2,LOW);
delay(ESPACIO);
}
}
else
{
    //PARTE 17
    Serial.println("DESACTIVADO");
    digitalWrite(INYECTOR1,LOW);
    digitalWrite(INYECTOR3,LOW);
    digitalWrite(INYECTOR4,LOW);
    digitalWrite(INYECTOR2,LOW);
}
}
else
{
    //PARTE 18
    CONTREINICIO=0;
    CONFUZZY=0;
    i=0;
    Serial.println("APAGADO");
    digitalWrite(INYECTOR1,LOW);
    digitalWrite(INYECTOR3,LOW);
    digitalWrite(INYECTOR4,LOW);
    digitalWrite(INYECTOR2,LOW);

```



```
digitalWrite(INYECTORFRIO,LOW);  
}  
}
```

Se dividió el código en 18 partes para poder explicar a detalle todo el programa que correrá en el Arduino mega.

❖ **PARTE 1:**

En esta primera parte es donde declaramos la librería fuzzy (eFFL).

❖ **PARTE 2:**

En esta parte se procede a declarar los pines de entrada y salida del controlador Arduino Mega.

❖ **PARTE 3:**

Se declara las variables del sistema así como variables con valores fijos para el inicio del programa.

❖ **PARTE 4:**

Se inicializa la librería fuzzy.

❖ **PARTE 5:**

En esta parte procedemos a establecer la velocidad de comunicación del sistema así como la comunicación para que pueda funcionar la librería de la frecuencia, también es aquí donde se establece la naturaleza de los pines del controlador.

❖ **PARTE 6:**

Una vez inicializada la librería en la parte 4, aquí se establece los conjuntos difusos tanto de entrada como de salida.

❖ **PARTE 7:**

Declaramos las reglas que rigen el control difuso.

❖ **PARTE 8:**

Antes de iniciar el ciclo es necesario leer ciertos datos que permitirán iniciar con el arranque del motor como son los sensores de posición del eje de levas como del cigüeñal.

❖ **PARTE 9:**

Aquí se inicia abriendo el contacto del módulo.

❖ **PARTE 10:**

Una vez que abrimos contacto en el módulo, se procede a inyectar combustible por el inyector de arranque en frío, para facilitar el arranque del motor.

❖ **PARTE 11:**

Para que inicie el arranque del motor y se procesa a inyectar combustible, es necesario que el motor este puesto a punto, quiere decir que el sensor de posición del eje de levas y el sensor de posición del cigüeñal se activan (los pistones están en la posición para iniciar la inyección del 1er cilindro).

❖ **PARTE 12:**

En esta parte se procede a leer los valores de los sensores MAP y TPS escalándolos según el margen dado en los conjuntos difusos.

❖ **PARTE 13:**

Se procede a enviar las variables leídas por el controlador al sistema difuso, también se defusifica las variables de salida hacia otra variable que tendrá el tiempo de inyección ya sea para gasolina o biometano.

❖ **PARTE 14:**

Aquí se controla el espacio entre cada pulso de inyección, este espacio varía en función de la posición del sensor de aceleración del vehículo.

❖ **PARTE 15:**

Para que el vehículo se estabilice se tuvo que establecer un tiempo base, pasado ese tiempo es que se introduce realmente el tiempo dado por el control fuzzy, antes de eso el tiempo de inyección será de 2.3ms.

❖ **PARTE 16:**

Es aquí donde empieza la activación de los inyectores según la secuencia establecida (1-3-4-2), también es posible monitorear el tiempo de inyección con la sentencia “Serial.println(TIEMPODEINYECCION)”, independientemente del combustible empleado.

Este tiempo de inyección se puede visualizar mediante el monitor serial del software Arduino.

❖ **PARTE 17:**

Para evitar que los inyectores queden activados, al momento de abrir contacto todos los inyectores están en LOW.

❖ **PARTE 18:**

Volvemos las variables del código a sus valores iniciales.

3.1.6 SIMULACION DEL SISTEMA CON EL CONTROL FUZZY MEDIANTE EL SOFTWARE LABVIEW

Se simuló el control mediante el software LabView, introduciendo los conjuntos difusos de entrada y de salida, además de eso es necesario declarar las reglas que regirán al sistema.

El producto de esa simulación es una gráfica en 2D para cada conjunto difuso de salida, en las imágenes 55, 56, se ve la ventana del software LabView, aquí se detalla el valor del sensor de entrada (MAP), el valor del tiempo de inyección de salida (para ambos combustibles) y las reglas que intervienen o que se activan para un determinado valor de entrada.

- **Grafica del conjunto difuso de gasolina.**

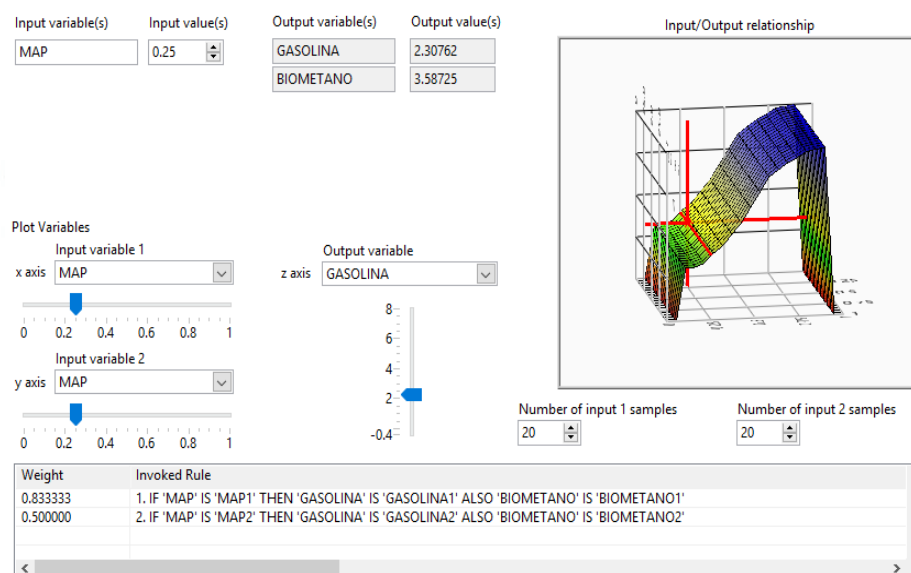


Figura 55. Ventana de la simulación de gasolina.
Fuente: Elaboración propia.

- **Grafica del conjunto difuso en biometano.**

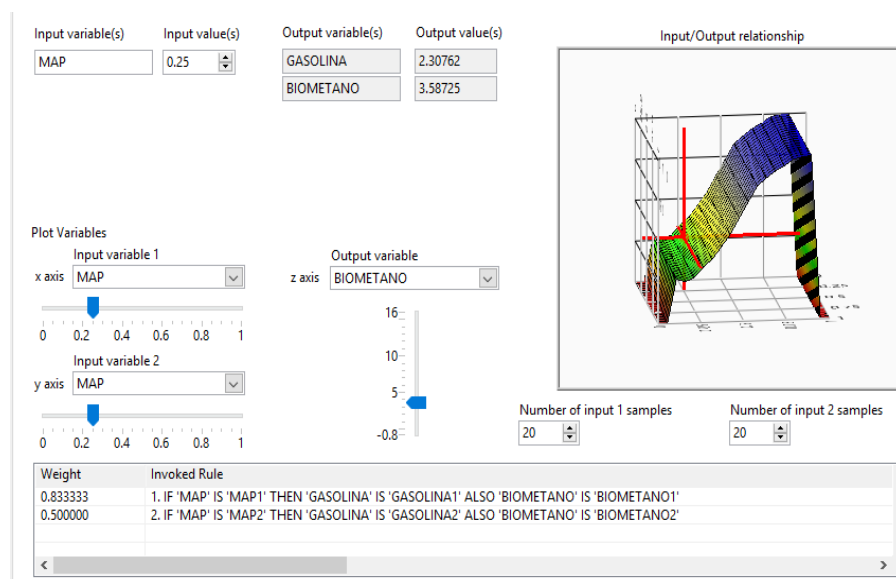


Figura 56. Ventana de la simulación en biometano.
Fuente: Elaboración propia.

Una vez simulado nuestro control Fuzzy mediante el software LabView, tenemos tiempos de inyección que son similares a los tiempos de inyección reales del motor Toyota 4AFE.

Cuando se vio la lógica de control se obtuvo tiempos promedios para las muestras de tiempos de inyecciones. La tabla 9 muestra los tiempos de inyecciones reales, los tiempos de inyecciones del controlador Fuzzy para gasolina y para biometano.

Tabla 9. Tiempos de inyecciones para los combustibles

Nº	MAP (bar)	PROMEDIO GASOLINA	FUZZY GASOLINA	ERROR	FUZZY BIOMETANO
1	0.24	2.17	2.25	0.08	3.48
2	0.25	2.18	2.3	0.12	3.59
3	0.26	2.30	2.34	0.04	3.68
4	0.27	2.34	2.38	0.04	3.74
5	0.28	2.38	2.40	0.02	3.79
6	0.29	2.44	2.43	0.01	3.83
7	0.30	2.47	2.44	0.03	3.86
8	0.31	2.57	2.55	0.02	4.08
9	0.32	2.63	2.65	0.02	4.28
10	0.33	2.81	2.74	0.07	4.47

Nota: Valores reales del tiempo de inyección del motor 4AFE registrados mediante el software AC STAG 0.25.15 comparado con los valores generados con el controlador difuso Fuente: Elaboración propia.

La tabla 9 muestra 4 columnas, MAP (valor del sensor MAP en bar), PROMEDIO GASOLINA (columna extraída de la tabla 8), FUZZY GASOLINA (valores extraídos del control difuso para el funcionamiento en gasolina), FUZZY BIOMETANO valores extraídos del control difuso para el funcionamiento con biometano).

La figura 57 muestra en una gráfica la comparación del tiempo de inyección tomado de la ECU original del motor (Series 1) y del tiempo de inyección generado con el control difuso (Series 2).

Como se observa en la figura 57, el control difuso tuvo una aproximación muy cercana a la ECU original, basándonos en estos datos podemos predecir el

comportamiento del motor para diferentes cargas del motor que se reflejan en los diferentes valores del sensor MAP.

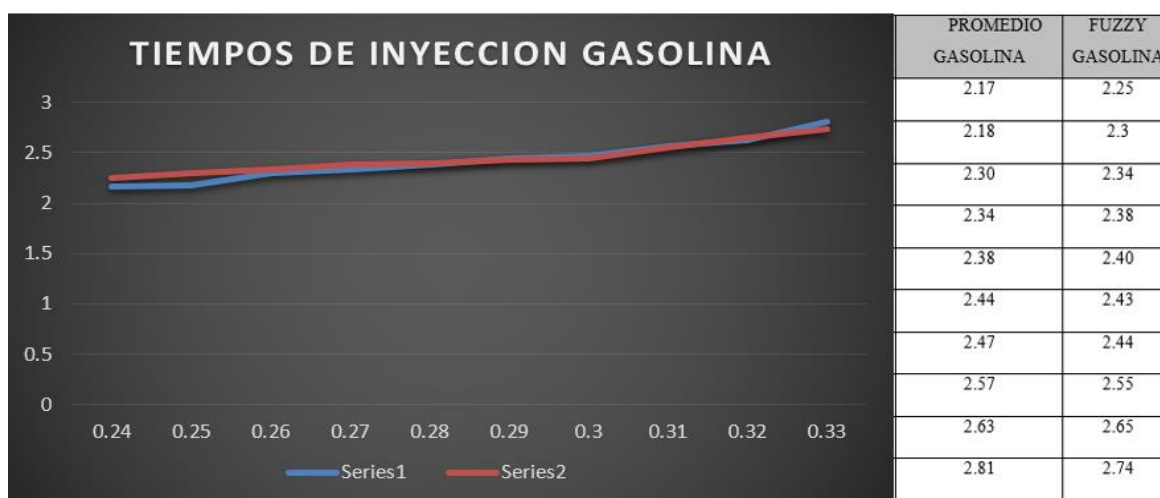


Figura 57. Tiempo de inyección real del motor y con tiempo de inyección con el control difuso.
Fuente: Elaboración propia.

La figura 58 detalla en 3 curvas el muestreo del tiempo de inyección de la ECU original del motor (Series 1), el tiempo de inyección generado con el control difuso para la gasolina (Series 2) y el tiempo de inyección generado con el control difuso para el biometano (Series 3).

El tiempo de inyección para el modulo Toyota 4AFE en biometano es en un 60% mayor al tiempo de inyección en gasolina, este porcentaje dependerá de la pureza del gas pudiendo alcanzar hasta el doble del tiempo de inyección en gasolina.

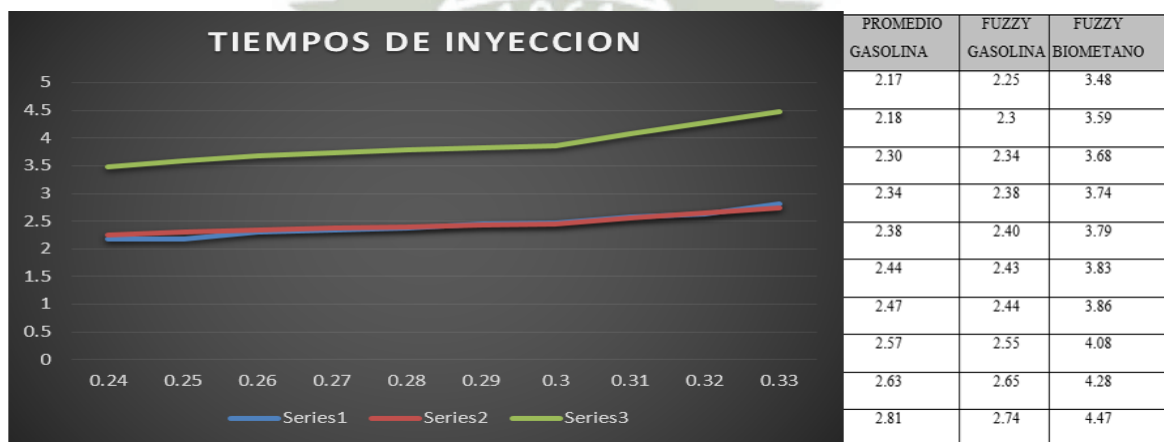


Figura 58. Tiempos de inyección: ECU original, control difuso gasolina y control difuso biometano.
Fuente: Elaboración propia.

Para finalizar el proceso de control de los inyectores, también se debe establecer el espacio que hay entre inyectores y como varía en función de los voltajes obtenidos por el sensor TPS.

En gasolina se tiene un espacio entre inyectores en ralentí de 12 ms para gasolina y de 8.5 ms en biometano, este espacio se reduce bruscamente en el rango de 0 - 0.06 para luego tener una reducción mucho más lenta, hasta el valor de 2.6 del TPS que es un valor límite que se optó, más allá de ese valor el motor sería afectado por las altas RPM y la falta de carga del motor.

- **Gasolina:**

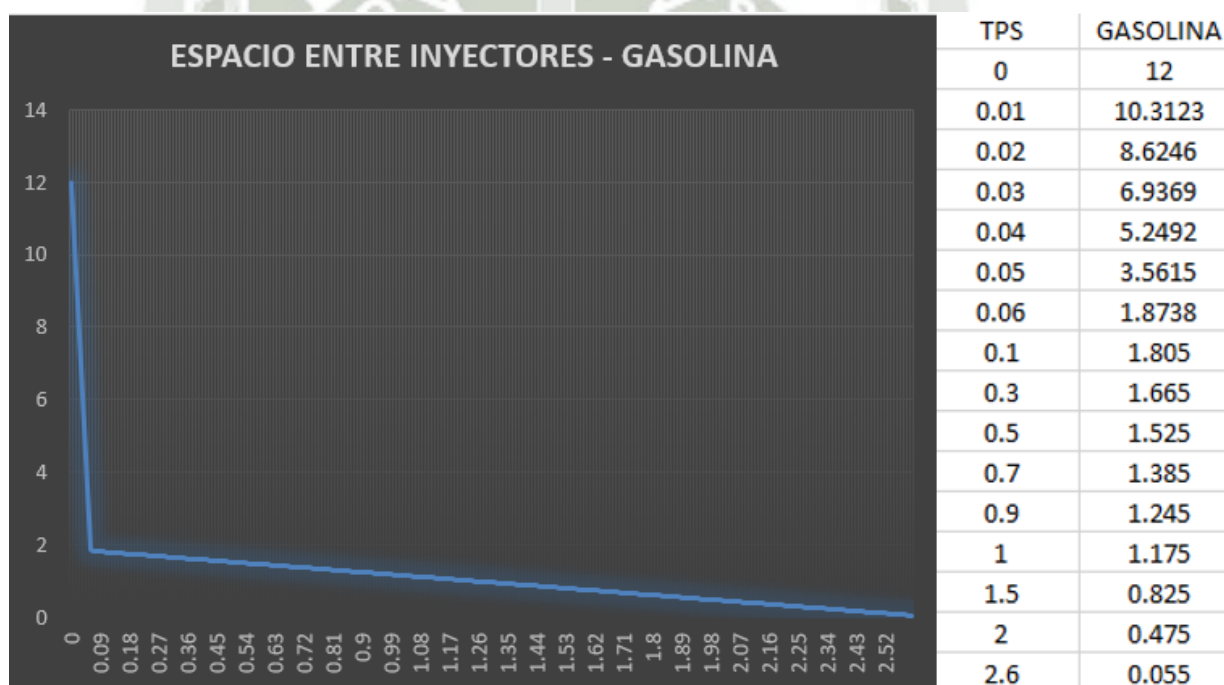


Figura 59. Espacio entre inyectores de gasolina en función del sensor TPS.
Fuente: Elaboración propia.

- **Biometano:**

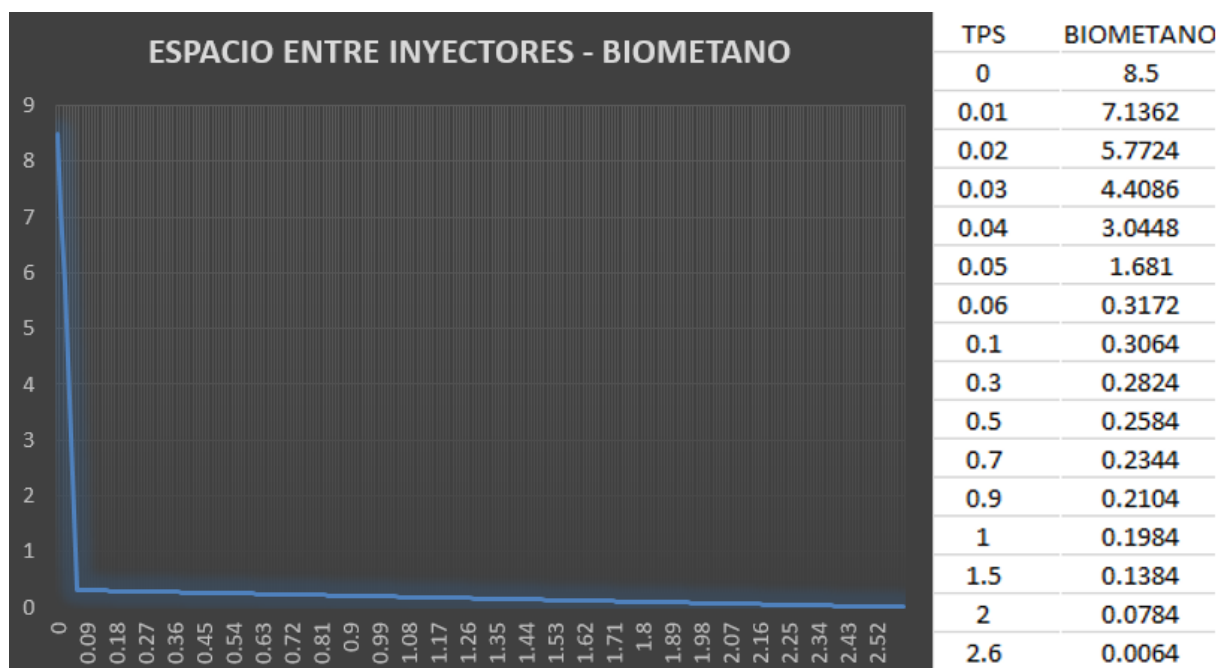


Figura 60. . Espacio entre inyectores de biometano en función del sensor TPS.
Fuente: Elaboración propia.

3.2 DISEÑO DE LA TARJETA DE POTENCIA

En el capítulo II se mencionó la presencia de una tarjeta de potencia que cumpla con la función de activar y desactivar los inyectores según sea la orden del controlador.

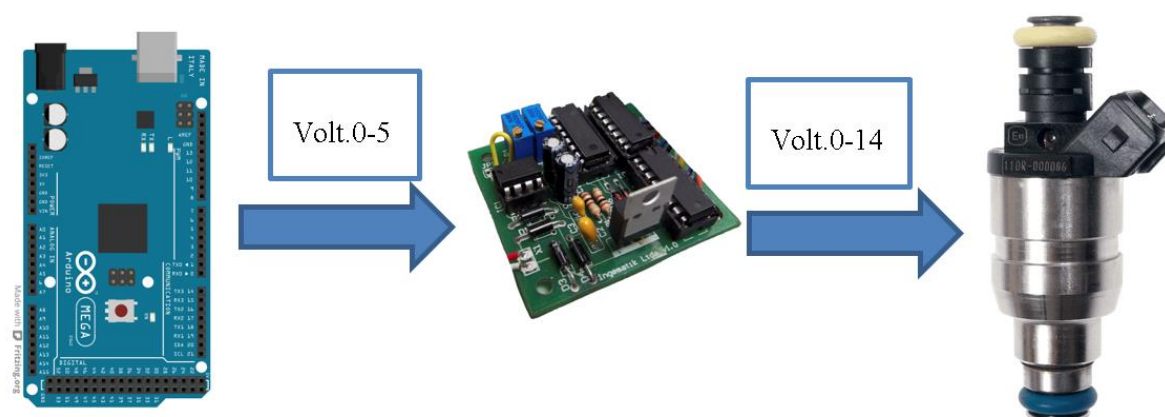


Figura 61. Etapa de control y de potencia. Fuente: Elaboración propia.

Es sabido que el controlador de la marca Arduino así como la mayoría de controladores de esa gama, tienen señales de entrada y salida que varían en un rango de voltaje de 0-5 Voltios. Los inyectores de vehículos de combustión interna tienen un rango de voltaje de activación en función al voltaje de la batería, es decir el voltaje de activación de la mayoría de estos vehículos es 0-14 Voltios, es por eso la presencia de esta tarjeta electrónica.

La tarjeta electrónica integrada por componentes electrónicos (resistencias, transistores, optoacopladores) recibe las señales de activación del controlador Arduino (de 0 a 5 voltios) y con esta señal permitir el paso a una tención mayor de 14 voltios proveniente de la batería del vehículo que activara a los inyectores.

3.2.1 Cálculos de diseño

Realizaremos el cálculo para una parte del circuito, debido a que este mismo se repite 5 veces por tener las mismas características los 5 inyectores.

Este control será aplicado a un módulo de la Universidad Católica Santa María, este motor ciclo Otto fue trabajado con anterioridad diseñándole una tarjeta, la cual será analizada y basándonos en esa experiencia fabricaremos una tarjeta electrónica que básicamente tendrá las mismas características debido a que es el mismo modulo y el mismo modelo de inyectores.

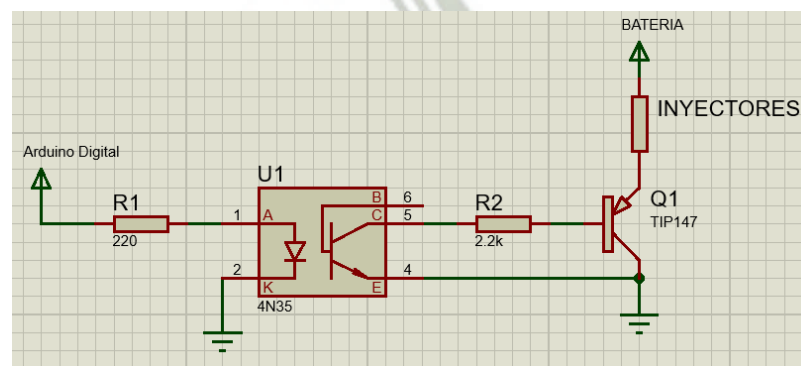


Figura 62. Esquema eléctrico para cada inyector.
Fuente: Elaboración propia.

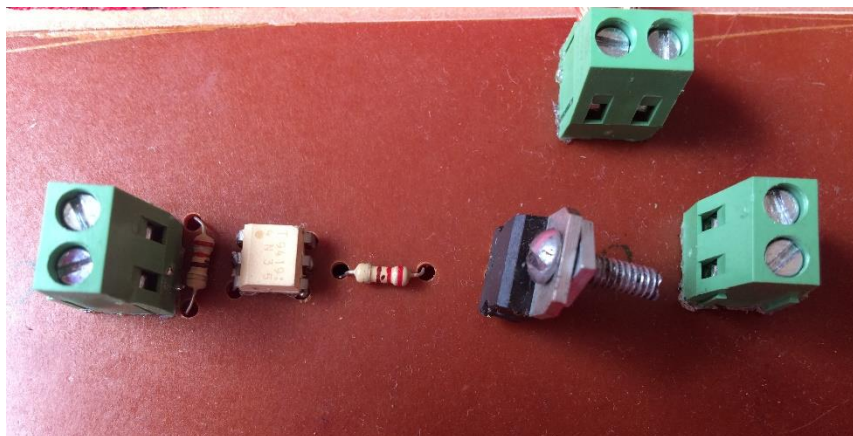


Figura 63. Placa física electrónica para cada inyector.
Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en la figura 63 tenemos el circuito para un inyector, este será replicado para los 4 inyectores.

Como se observa ya están designados el código de cada componente, así como el valor de las resistencias a emplear, a continuación, detallaremos el cálculo que llevo a la elección de dichos componentes.

✓ Optoacoplador 4N35:

Según el datasheet de dicho componente tenemos las siguientes características (valores máximos):

$$I_{directa} = 50mA$$

$$Voltaje\ reverse = 6V$$

Según los cálculos teóricos tenemos que:

$$V = I * R$$

Tenemos un voltaje de entrada de 5V provenientes del controlador, tenemos una caída de tensión en el diodo de entrada de 1.15 V aproximadamente para un 4N35y poniendo como valor máximo la corriente directa tenemos:

$$5V - 1.3V = 50mA * R$$

$$5V = 0.05A * R$$

$$R = \frac{5 - 1.15V}{0.05A}$$

$$R = 77 \text{ Ohms}$$

Para la entrada del optoacoplador es necesario una resistencia mayor a los 77 ohm para evitar un daño en el dispositivo, es por esto que emplearemos una resistencia de 220 ohm debido a su comercialidad.

✓ **Transistor PNP TIP147**

Como emplearemos optoacopladores 4N35 para proteger al controlador, debemos emplear el voltaje de la batería que es de 14Voltios, es por ello que la mejor opción es emplear un transistor tipo PNP.

Como ya se explicó en el capítulo II las características y el comportamiento general de los transistores ahora realizaremos el cálculo para determinar las resistencias y el valor de corriente necesaria para su funcionamiento.

Recordando las siguientes formulas:

$$IC = B * IB$$

$$IC = IB + IE$$

Tenemos los siguientes datos del componente TIP 147:

$$IBmax = 0.5A$$

$$ICmax = 10 A$$

$$VCE = 100V$$

$$B = 1000$$

$$VBE = 0.7 V$$

La resistencia de los inyectores de gasolina es aproximadamente 14 ohm:

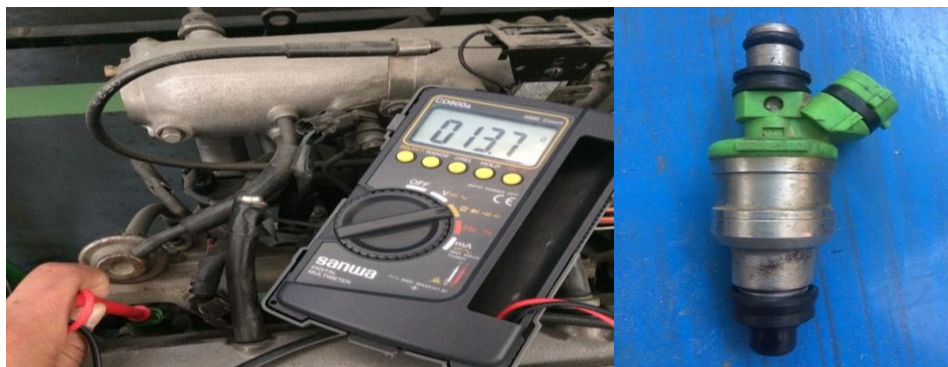


Figura 64. Medición de resistencia de Inyectores del motor 4AFE. Fuente: Elaboración propia.

La resistencia de los inyectores de gas es aproximadamente 2 ohm

Por lo cual debemos tomar en consideración los inyectores de menor resistencia (mientras menor sea la resistencia mayor será la corriente por lo que será el valor máximo de corriente en el circuito).

$$IC = \frac{V}{R}$$

$$IC = \frac{14V}{2\ ohms}$$

$$IC = 7Amp$$

Obtenida la corriente de colector podemos calcular la corriente de base

$$IB = \frac{IC}{B}$$

$$IB = \frac{7Amp}{1000} = 0.007A = 7mA$$

Entonces podemos obtener de un pequeño circuito en la base que:

$$RB * IB + 0.7V = 14V$$

$$RB = \frac{14 - 0.7}{0.007A}$$

$$RB = 1.90 \text{ kohm}$$

Consideraremos una resistencia de 2.2 kohm que será suficiente y lo más aproximado.

Una vez establecido los valores necesarios y comprobando que no superan los valores máximos de diseño de los componentes, procedemos a las pruebas de funcionamiento.

Los inyectores de gasolina cuentan con una resistencia de 14 ohm, mientras que los inyectores de gas

- ✓ Para simular la señal de 5 V emitida por el controlador Arduino Mega, empleamos un cargador de celular que da 5.5 V DC (un valor aceptable para la activación del circuito).

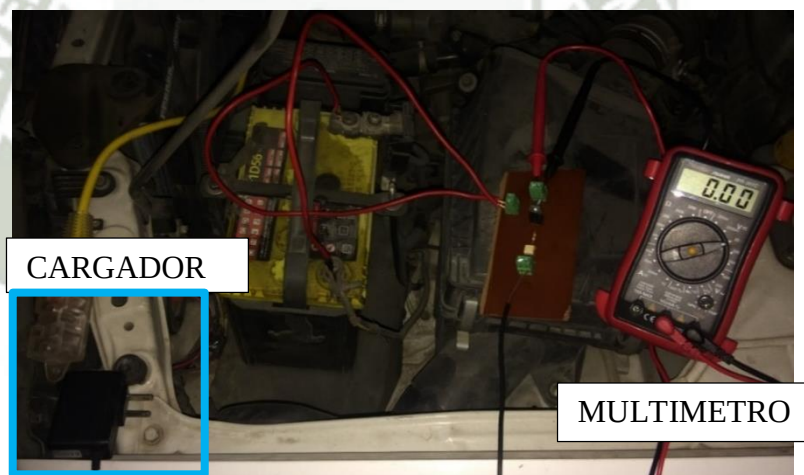


Figura 65. Prueba de placa para cada inyector (Inactivo).
Fuente: Elaboración propia.

- ✓ Conectamos la batería de 14 V y un multímetro para ver el voltaje que activara a los inyectores.

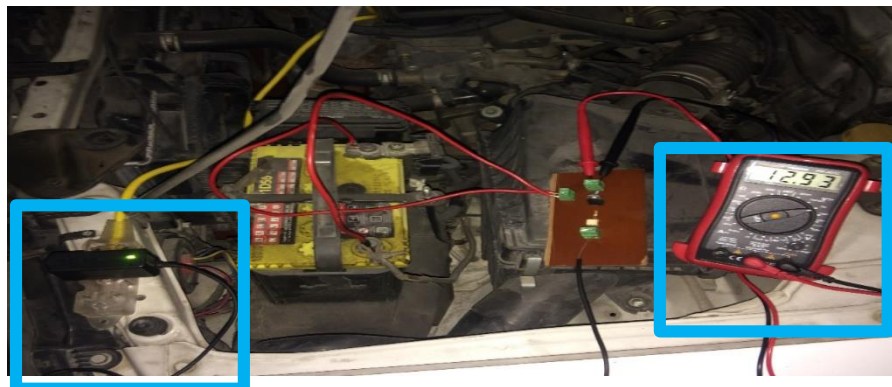


Figura 66. Prueba de placa para cada inyector (Activo).
Fuente: Elaboración propia.

- ✓ Como podemos observar, el cargador se conectó estimulando con aproximadamente 5 V DC al circuito, conmutando el transistor TIP 147 llevando 12.93 V DC (Voltaje de la batería) al multímetro.

3.2.2 Circuito electrónico

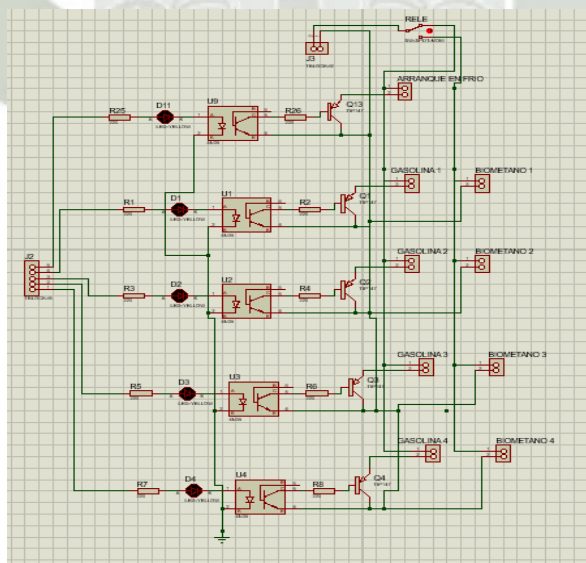


Figura 67. Circuito eléctrico para cada inyector. Fuente: Elaboración propia.

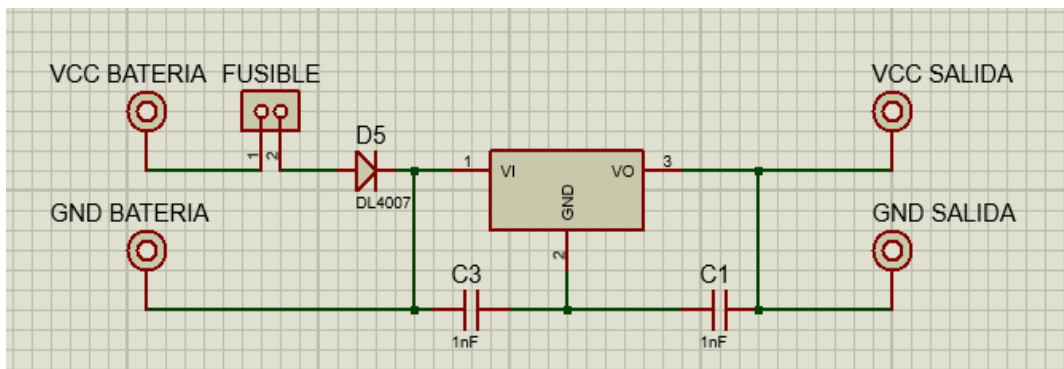


Figura 68. Circuito eléctrico de la alimentación del Arduino Mega. Fuente: Elaboración propia.

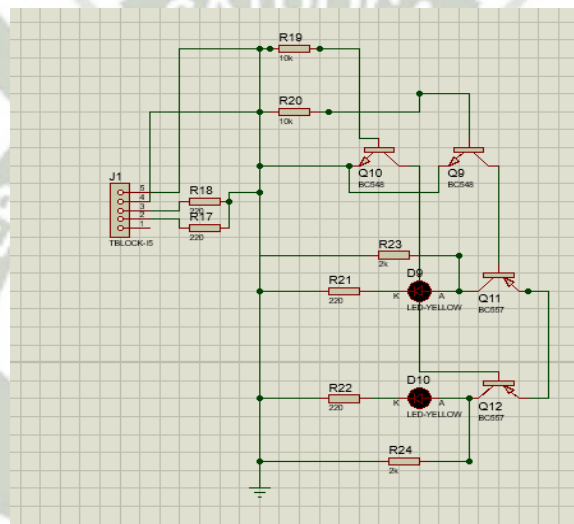


Figura 69. Circuito eléctrico para los sensores CKP y CMP. Fuente: Elaboración propia.

En la figura 67 se muestra los componentes electrónicos empleados:

- ✓ Optoacopladores 4N35
- ✓ Resistencias 220ohm , 2.2kohm
- ✓ Transistores Darlington TIP 147
- ✓ Led's
- ✓ Transistores BC548
- ✓ Transistores BC557

- ✓ Fusible 1amp
- ✓ Regulador de voltaje 7809
- ✓ Diodo 4007
- ✓ Relé Q22FF
- ✓ Capacitores de tantalio de 1uf

Los optoacopladores 4N35 permitirán la protección del controlador (este tipo de componente cumple con las características necesarias según nuestro cálculo), evitando así cualquier riesgo de voltaje elevado que pueda dañar el controlador

3.3.2 Elaboración de la tarjeta electrónica

Para la elaboración de la tarjeta electrónica se procedió a realizarla por el método del planchado. Como se ha venido trabajando la simulación de la tarjeta de potencia en el programa Proteus 8, es necesario crear un diseño en PCB Layout.

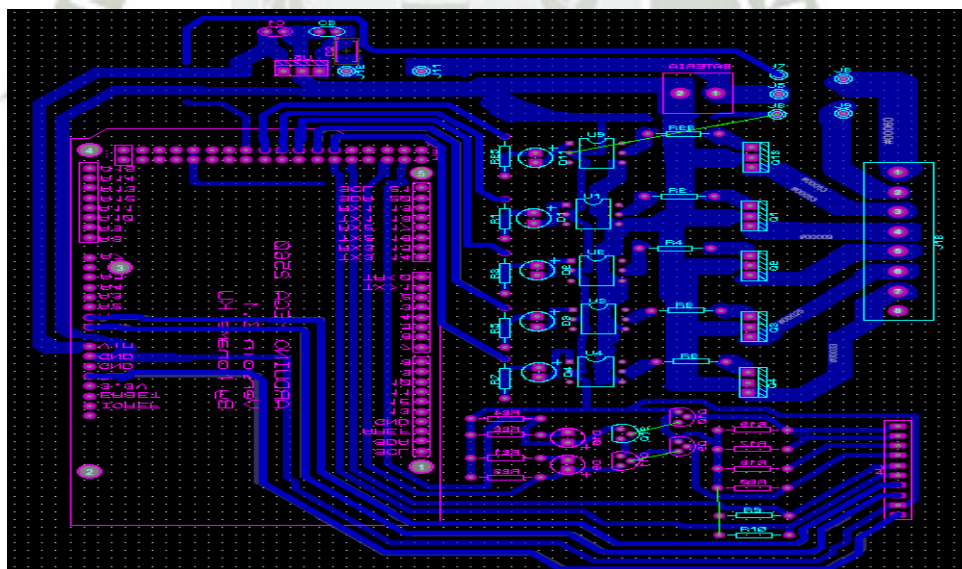


Figura 70. Placa electrónica para el control de inyectores. Fuente: Elaboración propia.

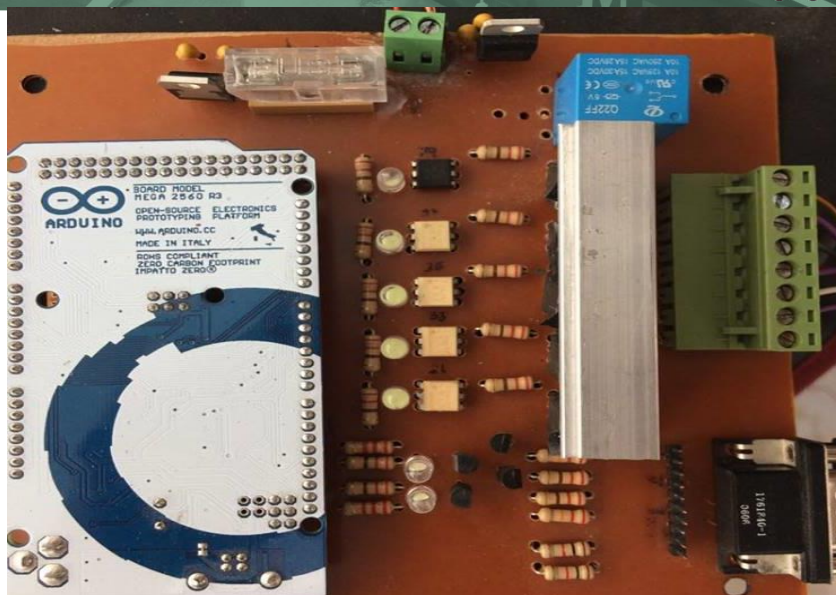


Figura 71. Placa electrónica física para el control de inyectores. Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente se procedió a quemar el diseño elaborado en proteus en una placa (figura 71). Este será el circuito final, a continuación, se detallarán los componentes empleados en el diseño.

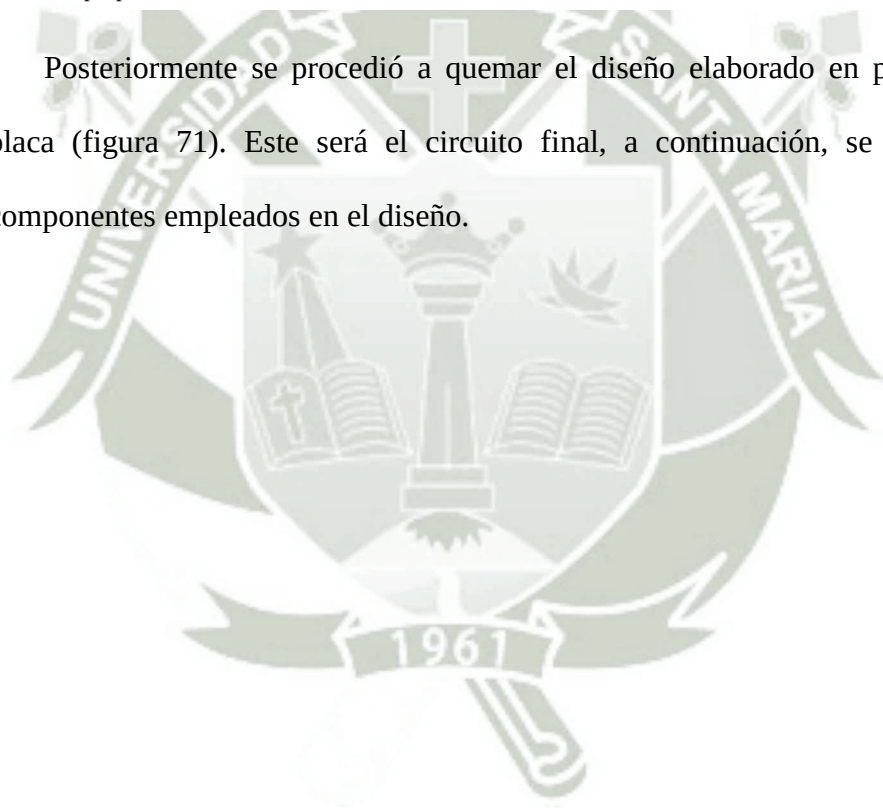


Tabla 10. Componentes de diseño de la ECU.

COMPONENTE ELECTRONICO	TIPO	CANTIDAD	COSTO UNITARIO(S/.)
ARDUINO	MEGA	1	63.0
OPTOACOPLADOR	4N35	5	1.00
TRANSISTOR DARLINGTON	TIP 147	4	4.90
RESISTENCIAS	-----	24	0.10
LEDS	-----	7	0.7
BORNERAS DE 12 PINES	-----	1	12.00
BORNERA DE 8 PINES	-----	1	4.00
RELE	Q22FF	1	5.00
REGULADOR DE VOLTAJE	7809	1	5.00
REGULADOR DE VOLTAJE	7812	1	5.00

Nota: Precio de los componentes empleados en el diseño de la ECU. Fuente: Elaboración propia.

CAPITULO IV

PRUEBA Y RESULTADOS

4.1 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO (MOTOR TOYOTA 4AFE)

La figura 72 muestra el módulo de pruebas que contiene un motor Toyota 4AFE, dicho modulo fue un aporte de la Universidad Católica de Santa María de Arequipa, se realizó la conversión del módulo a GNV de 5ta generación para poder realizar las pruebas pertinentes con el biometano presurizado.

Como se puede observar el modulo está montado sobre una estructura metálica y es inamovible, por lo que el motor no tendrá carga alguna.

La carga del vehículo es el que determina la demanda de combustible que será dado por la ECU.

Las pruebas a realizar a diferentes tiempo de inyección serán analizadas con el medidor de mezcla estequiometria AFR de la empresa STAG, este nos permitirá determinar que el control de la ECU es el adecuado manteniendo una mezcla estequiometria constante ya sea para gasolina como para biometano.



MOTOR	
Ítem	Tipo
Alimentación	Injectores
Cilindros	4
Válvulas por cilindro	4
Tasa de compresión	9.5: 1
Potencia	103-105 CV a 5800 rpm
Esfuerzo de torsión	100-102 Lb/pie a 4800 rpm

Figura 72. Módulo de pruebas Toyota 4AFE con sus características.
Fuente: Elaboración propia.

4.1.1 Pruebas para Gasolina

Se realizaron 16 muestras con diferentes tiempos de inyección a diferentes RPM's, con un valor de sensor MAP de 0.25 bar (valor al cual el motor se encuentra en ralentí, con una variación de ± 0.03) con el fin de establecer un valor que al analizarlo con el equipo AFR, tengas las condiciones de operaciones óptimas.

Tabla 11. Valores del sensor lambda a diferentes RPM y con diferentes tiempos de inyección con gasolina.

N°	Tiempo de Inyección	RPM	Mezcla (Lambda)
1	2	1000	15.81
2	2	1500	14.56
3	2	2000	14.17
4	2.2	1000	16.66
5	2.2	1500	15.58
6	2.2	2000	14.3
7	2.4	1000	14.89
8	2.4	1500	13.94
9	2.4	2000	13.97
10	2.6	1000	14.3
11	2.6	1500	14.48
12	2.6	2000	14.19
13	2.8	1000	14.96
14	2.8	1500	14.5
15	2.8	2000	14.56
16	3	1000	12.19

Nota: Valores experimentales en gasolina del tiempo de inyección en ralentí para establecer un punto de partida en el control. Fuente: Elaboración propia.

Con las características del tiempo de inyección, espacio base entre inyectores y a las diferentes RPM's es posible tener un óptimo proceso de combustión del vehículo. De las diferentes muestras tomadas podemos obtener un rango de trabajo del motor que van desde los 2 milisegundos hasta los 2.8 milisegundos fuera de este rango el motor no arranca.

A continuación se mostrara algunas imágenes de las mediciones con sus respectivos tiempos de inyecciones:

✓ **Tiempo de inyección: 2milisegundos**

La figura 73 muestra que con 2 milisegundos a 1000, 1500 y 2000 rpm el sensor Lambda muestra una inclinación a mezcla pobre.

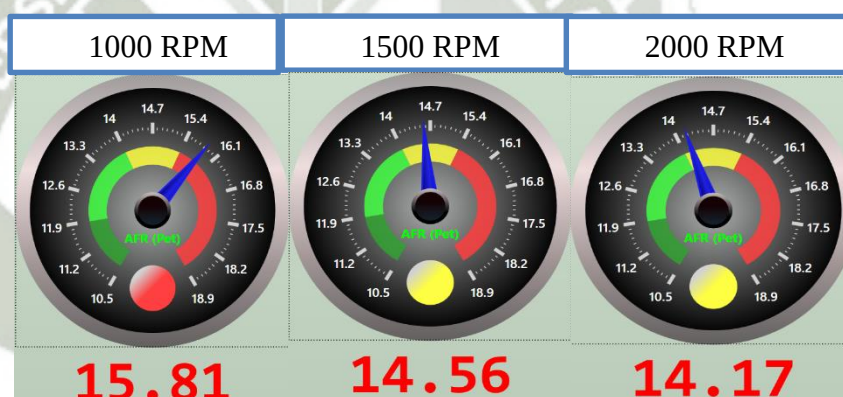


Figura 73. Valores Lambda para 2 milisegundos de tiempo de inyección.
Fuente: Elaboración propia.

✓ **Tiempo de inyección: 3milisegundos**

La figura 74 muestra que con 3 milisegundos a 1000 rpm el sensor Lambda muestra una mezcla rica, en las pruebas físicas el motor comenzó a quemar humo negro y no tardó mucho en apagarse.

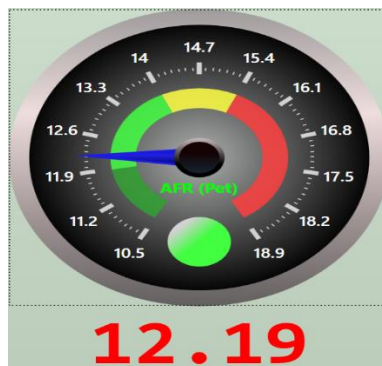


Figura 74. Valores Lambda para 3 milisegundos de tiempo de inyección.
Fuente Elaboración propia.

Se tomó la decisión de emplear un tiempo de inyección promedio entre el rango de trabajo del vehículo debido a que el sensor MAP como ya se mencionó, varía en ralentí en un rango de ± 0.03 bar aproximadamente, es por eso que se establece un tiempo promedio para asegurar que el vehículo siempre trabaje en una mezcla óptima para su funcionamiento.

Pruebas para el tiempo de inyección óptimo:

✓ Prueba 1:

Tiempo de inyección = 2.4 milisegundos

Espacio base entre inyectores = 12 milisegundos

RPM = 1000



Figura 75. Mezcla estequiometría a 1000 RPM. Fuente:
Elaboración propia.

✓ **Prueba 2:**

Tiempo de inyección = 2.4 milisegundos

Espacio base entre inyectores = 12 milisegundos

RPM = 1500



Figura 76. Mezcla estequiometria a 1500 RPM. Fuente: Elaboración propia.

✓ **Prueba 3:**

Tiempo de inyección = 2.4 milisegundos

Espacio base entre inyectores = 12 milisegundos

RPM = 2000



Figura 77. Mezcla estequiometria a 2000 RPM. Fuente elaboración propia.

4.1.2 Pruebas para Biometano

Se realizaron 9 muestras con diferentes tiempos de inyección a diferentes RPM's, con un valor de sensor MAP de 0.25 bar (valor al cual el motor se encuentra en ralentí, con una variación de ± 0.03) con el fin de establecer un valor que al analizarlo con el equipo AFR, tengas las condiciones de operaciones óptimas.

Tabla 12. Valores del sensor lambda a diferentes RPM y con diferentes tiempos de inyección con biometano.

N°	Tiempo de Inyección	RPM	Mezcla (Lambda)
1	2.8	1000	23.85
2	2.8	1500	22.27
3	2.8	2000	22.62
4	3.2	1000	19.34
5	3.3	1000	19.17
6	3.4	1000	18.97
7	3.6	1000	18.89
8	3.6	1500	18.25
9	3.6	2000	17.53

Nota: Valores experimentales en biometano del tiempo de inyección en ralentí para establecer un punto de partida en el control. Fuente: Elaboración propia.

De las diferentes muestras tomadas podemos obtener un rango de trabajo del motor que van desde los 2.8 milisegundos hasta los 3.8 milisegundos fuera de este rango el motor no arranca.

A continuación se mostrara algunas imágenes de las mediciones con sus respectivos tiempos de inyecciones:

✓ **Tiempo de inyección: 2.8 milisegundos**

La figura 78 muestra que con 2.8 milisegundos a 1000, 1500 y 2000 rpm el sensor Lambda muestra una inclinación a mezcla pobre.

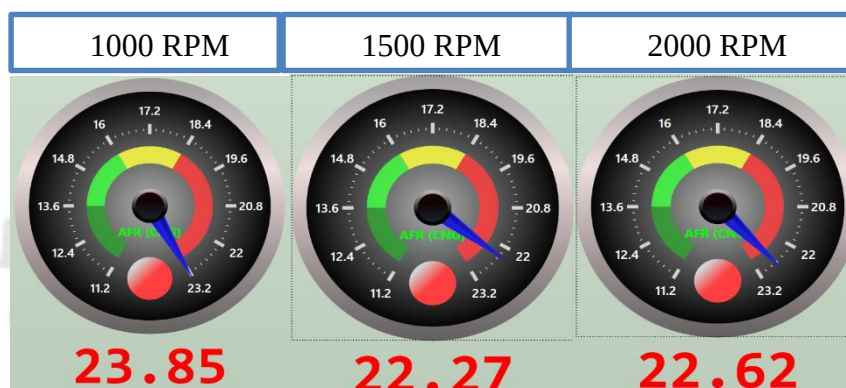


Figura 78. Valores Lambda para 2.8 milisegundos de tiempo de inyección.
Fuente: Elaboración propia.

✓ **Tiempo de inyección: 3.2 milisegundos**

La figura 79 muestra que con 3.2 milisegundos a 1000, el sensor Lambda muestra una inclinación a mezcla pobre.

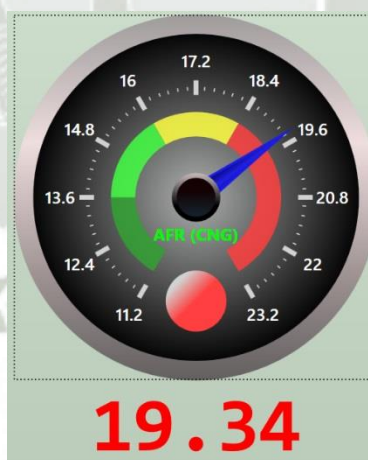


Figura 79. Valor del sensor Lambda para 3.2 milisegundos de tiempo de inyección.
Fuente: Elaboración propia.

✓ **Tiempo de inyección: 3.3 milisegundos**

La figura 80 muestra que con 3.2 milisegundos a 1000, el sensor Lambda muestra una inclinación a mezcla pobre.



Figura 80. Valor del sensor Lambda para 3.3 milisegundos de tiempo de inyección.
Fuente: Elaboración propia.

✓ **Tiempo de inyección: 3.4 milisegundos**

La figura 81 muestra que con 3.4 milisegundos a 1000, el sensor Lambda muestra una inclinación a mezcla pobre.

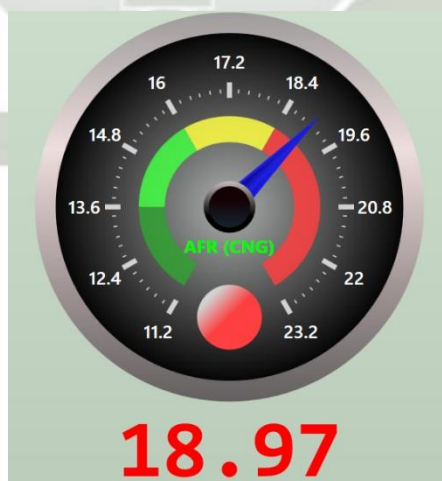


Figura 81. Valor del sensor Lambda para 3.2 milisegundos de tiempo de inyección.
Fuente: Elaboración propia.

El tiempo de inyección más óptimo en ralentí donde se obtiene una mezcla estequiometria es el siguiente:

Pruebas para el tiempo de inyección optimo:

✓ **Prueba 1:**

Tiempo de inyección = 3.6 milisegundos

Espacio base entre inyectores = 8.5 milisegundos

RPM = 1000



Figura 82. Mezcla estequiometria a 1000 RPM. Fuente: Elaboración propia.

✓ Prueba 2:

Tiempo de inyección = 3.6 milisegundos

Espacio base entre inyectores = 8.5 milisegundos

RPM = 1500



Figura 83. Mezcla estequiometria a 1500 RPM. Fuente: Elaboración propia.

✓ Prueba 3:

Tiempo de inyección = 3.6 milisegundos

Espacio base entre inyectores = 8.5 milisegundos

RPM = 2000



Figura 84. Mezcla estequiometria a 2000 RPM. Fuente: Elaboración propia.

4.2 RENDIMIENTO ENERGETICO Y ECONOMICO DE GASOLINA Y BIOMETANO

De la tabla 4 tomamos los valores de los poderes caloríficos de ambos combustibles y considerando que el modulo Toyota 4AFE cuenta con una potencia de 103- a 105 CV tenemos:

- Gasolina:**

$$P_{cal} = 11.77 \frac{KWh}{kg}$$

$$Densidad = 0.745 \frac{g}{cm^3} = 745 \frac{kg}{m^3}$$

$$P_{cal} = 11.77 \frac{KWh}{kg} * densidad = 8768.65 \frac{KWh}{m^3}$$

$$P = 103 CV = 76.8071 KW$$

$$Q = \frac{P}{P_{cal}} = 0.008759 \frac{m^3}{h} = 8.759 \frac{L}{h}$$

Sabiendo que un galón de gasolina equivale a 3,74 litros:

$$Q = 2.34 \frac{Galones}{h}$$

- Biometano:**

$$P_{cal} = 13.9 \frac{KWh}{kg}$$

$$Densidad = 777 \frac{g}{m^3} = 0.777 \frac{kg}{m^3}$$

$$P_{cal} = 13.9 \frac{KWh}{kg} * densidad = 10.8 \frac{KWh}{m^3}$$

$$P = 103 CV = 76.8071 KW$$

$$Q = \frac{P}{P_{cal}} = 7.111 \frac{m^3}{h}$$

Se requiere un mayor caudal en biometano en comparación con la gasolina para poder llegar a generar la potencia de 103 CV.

Tabla 13. Costo actual de la gasolina y el biometano.

COMBUSTIBLE	PRECIO (S./)
Gasolina (Galón)	12
Biometano (m3)	0.98

Nota: Precio de gasolina de 90 referencial al grifo Repsol. Recuperado de <http://www.facilito.gob.pe/facilito/actions/PreciosCombustibleAutomotorAction.do> .Precio de biometano fuente: Peña J. Investigador del proyecto: “Producción y uso de biometano presurizado como sustituto de combustibles fósiles en el sector agrícola”.

Tabla 14. Comparación del consumo de la gasolina y el biometano.

COMBUSTIBLE	PRECIO (S./)	VOLUMEN REQUERIDO	COSTO FINAL (S./)
Gasolina (Galón)	12	2.34 Gal/h	28.08
Biometano (m3)	0.98	7.111 m3/h	6.97

El ahorro que se obtienen al sustituir la gasolina por el biometano es considerablemente significativo (basándonos en los costos de ambos combustibles al 26/03/2018).

El costo del biometano es el 25% del costo de la gasolina para cumplir con la potencia del módulo Toyota 4AFE por hora.

CONCLUSIONES

- Se ha logrado monitorear, evaluar y controlar las variables asociadas al biometano presurizado obteniendo resultados satisfactorios en el empleo a un motor de combustión interna.
- Se comprobó que es viable la aplicación del biometano presurizado en los motores de combustión interna mediante un controlador difuso.
- Se desarrolló un control difuso que puede ser mejorado, esto quedara como base para el posterior mejoramiento del programa y del empleo de mejores alternativas de control.
- El tiempo de inyección cuando el vehículo se encuentra en ralentí es el mismo tiempo cuando se acelera el vehículo, siempre y cuando no se encuentre con carga el vehículo. Para esto el sensor MAP es constante también, aproximadamente 0.25 bar.
- Para elevar las RPM de un motor sin carga, no se inyecta más combustible lo que varía para incrementar las revoluciones del motor es el espacio de activación que hay entre cada inyector. Cuando el motor se encuentra con carga varía el tiempo de inyección y también varía el espacio de activación que hay entre cada inyector.
- Cuando se acelera bruscamente el motor (sin carga), el tiempo de inyección también se incrementa rápidamente debido a la variación brusca del sensor MAP, con esto las RPM se elevan, pero al no detectar carga el sensor MAP se reduce nuevamente a 0.25bar reduciendo al tiempo de inyección en ralentí.

- El tiempo de inyección en biometano es en un 60% mayor al tiempo de inyección en gasolina, este porcentaje dependerá de la pureza del gas pudiendo alcanzar hasta el doble del tiempo de inyección en gasolina.
- El programa no debe tener interrupciones como el envío de datos por el monitor serial de Arduino ya que esto afectará directamente en los tiempos de inyección, debido a que se trabaja en milisegundos una pausa para el envío se reflejaría en el apagado del motor.



RECOMENDACIONES

- Para lograr un arranque rápido se debe realizar una preinyección, a la cual se denomina arranque en frío.
- Para evitar el cruce de señales entre posibles ECU's que se diseñen para gobernar el motor, es preferible aislar las señales de las mimas y dejar en funcionamiento solo una ECU.
- Para evitar usar un sensor lambda externo y que el controlador no se pueda ajustar para tener una mezcla más precisa, se debe instalar un sensor lambda adicional con el fin de poder medir la mezcla para gasolina como para biometano.
- Para optimizar completamente el modulo, se debe registrar la temperatura del motor para realizar el cambio de combustible de gasolina a biometano, esto debido a que el reductor de gas debe encontrarse caliente para su funcionamiento óptimo.

BIBLIOGRAFÍA

- **Libros y Documentos:**

Andrino, J. (2006). *Mecánica y entretenimiento simple del automóvil*

Agrobiomet. (Diciembre, 2017). *Agrobiomet.* Recuperado de
[http://213.229.136.11/bases/ainia_agrobiomet.nsf/0/6D4DB83F2867A1D2C1257A87001ECA6E/\\$FILE/El%20Economista_energia.pdf..](http://213.229.136.11/bases/ainia_agrobiomet.nsf/0/6D4DB83F2867A1D2C1257A87001ECA6E/$FILE/El%20Economista_energia.pdf..)

Aparicio, A. (2015). Biometano: alternativa sostenible. *Met&Flu*, 65. Recuperado de http://www.cdtdegas.com/images/Descargas/Nuestra_revista/MetFlu11/6_Biometano.pdf

Arango, J. , Sierra, F. , y Pérez , S. (Abril, 2014). Comportamiento de un motor diesel de 1.105 hp operado mediante el sistema dual-fuel con diesel - gas natural en campos petroleros. Bogota, Colombia. *Sena*, 78(1) Recuperado de http://revistas.sena.edu.co/index.php/inf_tec/article/view/66/0

Arango, J. , Sierra, F., y Silva, V. (Marzo, 2012). Análisis exploratorio de investigaciones sobre los motores de combustión interna que trabajan con biogás. Universidad Nacional de Colombia. *Tecnura*, 18 (39) Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4778486.pdf>

Hernández, L. (1996). Tecnologías para el aprovechamiento del gas producido por la digestión anaeróbica de la materia orgánica . *Agronomía Colombiana*, 13(1). Recuperado de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/21468>

Bosch. (2002). *Manual de la técnica del automóvil*. Reverté S.A .

- Calsin, A. y Rodriguez, A. (2015). *Analisis y diseño de un modulo de control electrónico (ECM) para la optimización de la potencia de un motor de combustión interna Toyota 4AFE*. Arequipa, Arequipa, Perú .
- Chinchilla, É. (2014). *Diseño e implementación de un controlador difuso que, interviene la inyección electrónica de combustible en un vehículo, para la utilización de HHO como combustible complementario*. Costa Rica: Universidad de Costa Rica.
- Rodriguez, R. (2011). *Análisis y adaptación de motores de ciclo Otto y Diesel operando con biogás*. España: Universidad Politécnica de Cataluña.
- De Castro, M. (1995). *Inyección de Gasolina*. CEAC.
- Staff Editorial de Electrónica y Servicio (2014). *Electrónica Automotriz. Electrónica y Servicio*.191. Recuperado de <https://books.google.com.pe/books?id=M9ylBQAAQBAJ&pg=PA47&dq=SENSOR+TPS&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjN696E-YfaAhWJyVMKHcpDBtwQ6AEIQDAD#v=onepage&q=SENSOR%20TPS&f=false>
- Estíbaliz, J. (n.d.). Siloxanos en motores de gas. *Lubrication Management*. Retrieved from http://lubrication-management.com/wp-content/uploads/sites/3/2014/07/Siloxanos_motores_gas_ES.pdf
- Ferrer, J. y Checa, G (2010). *Mantenimiento mecánico preventivo del vehículo*. Editex
- González, C.(n.d.).*Logica Difusa*. Recuperado de http://www.esi.uclm.es/www/cglez/downloads/docencia/2011_Softcomputing/LogicaDifusa.pdf

- Goñi Delión, J. C., & Rojas Delgado, M. (2014, Junio 26). Combustibles alternativos en motores de combustión interna. Lima, Lima, Peru: Universidad de Lima.
- IES Villalba (n.d.). *Transistores* . Retrieved from <https://iesvillalbahervastecnologia.files.wordpress.com/2008/04/transistores.pdf>
- Paspuezán, C. , y Sanchez, C. (Mayo, 2012). *Diseño, construcción de un sistema independiente de admisión con control electrónico programable magasquirt para un vehículo Chevrolet Aveo 1.4*. Riobamba, Ecuador: Escuela Superior Politecnica de Chimborazo.
- Rovira de Antonio, A., & Muñoz, M. (2015). *Motores de Combustion Interna*. Madrid: UNED. Universidad Nacional de Educacion a Distancia.
- Sánchez, A. (2014). *Instrumentación y control para la conversión de un motor de combustión interna a bi-combustible*. Mexico: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Schuler, C. (1986). *Electronica, Principios y Aplicaciones* . Bacelona: Reverté.
- Universidad de las Américas Puebla (UDLAP). (n.d.). Recuperado de http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lmt/ramirez_r_o/capitulo3.pdf
- Wauquier, J. P. (2004). *El refio del petróleo* . Recuperado de https://books.google.com.pe/books?id=dwkg8u2MmIC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- Zbar, P., Malvino, A. y Miller, M. (2001). *Practicass de Electrónica*. México: Alfaomega.

- **Paginas Web:**

BP Statistical Review of World Energy. (n.d.). Recuperado de <http://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy/co2-emissions.html>

Arduino. (2017). *Arduino*. Retrieved from <http://arduino.cl/arduino-mega-2560/>

Arduino. (2017). *Arduino*. Recuperado de <https://www.arduino.cc/en/Guide/Environment>

Avance, A. (n.d.). *Auto Avance*. Recuperado de <https://www.autoavance.co/blog-tecnico-automotriz/149-que-es-un-sensor-de-posicion-del-ciguenal-sensor-ckp-y-cmp/>

Carrod Electrónica. (2014). Recuperado de <https://www.carrod.mx/products/sensor-reflectivo-de-un-canal-cny70>

Hofmann, Frank - G. Biogas Association - F. Biogas e.V. (2017, Febrero 3). *SUTP Sustainable Urban Transport Project*. Recuperado de <http://sutp.org/es/news-reader/el-uso-de-biometano-en-el-sector-del-transporte-una-opcion-viable.html>

National Instrument. (n.d.). Recuperado de http://www.ni.com/es-cr/shop/labview.html?icid=HP_

Omnitek, E. (n.d.). Recuperado de <http://www.omnitekcorp.com/images/Omnitek%20DNG%20es.pdf>

STAG, A. (n.d.). *AC STAG*. Recuperado de <http://www.ac.com.pl/productos-autogas/rieles-de-inyeccion-de-glp-gnc/stag-ac-w01/355/>

Tomasetto Achille. (n.d.). Recuperado de <https://www.tomasetto.com/es/productos/reductores-gnc/modelo-at04>

Tomasetto Achille. (n.d.). Recuperado de

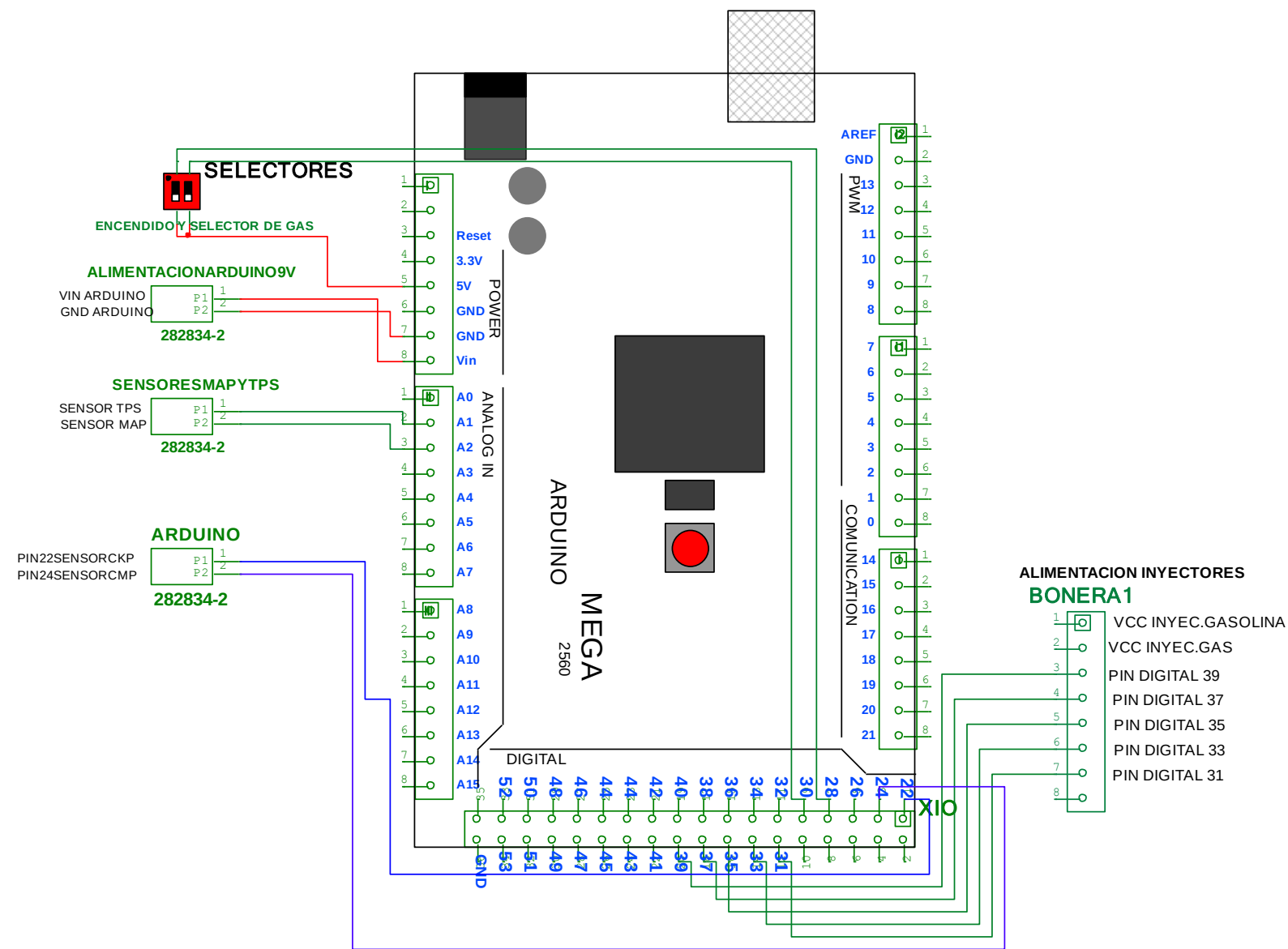
<https://www.tomasetto.com/es/productos/reductores-gnc/modelo-at12>



PLANOS ELECTRICOS

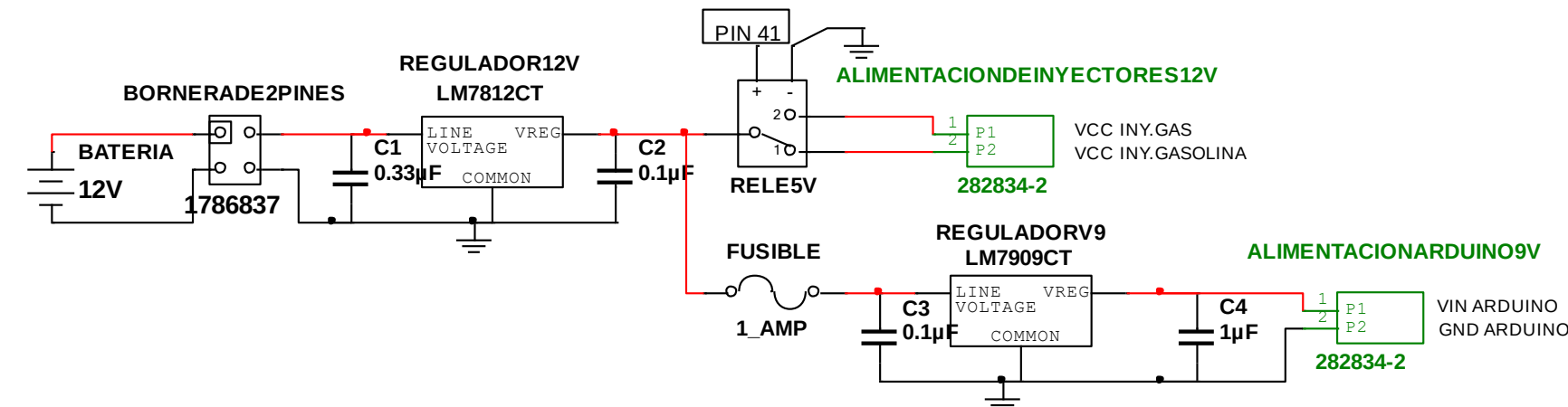


DIAGRAMA DE CONEXION ARDUINO MEGA



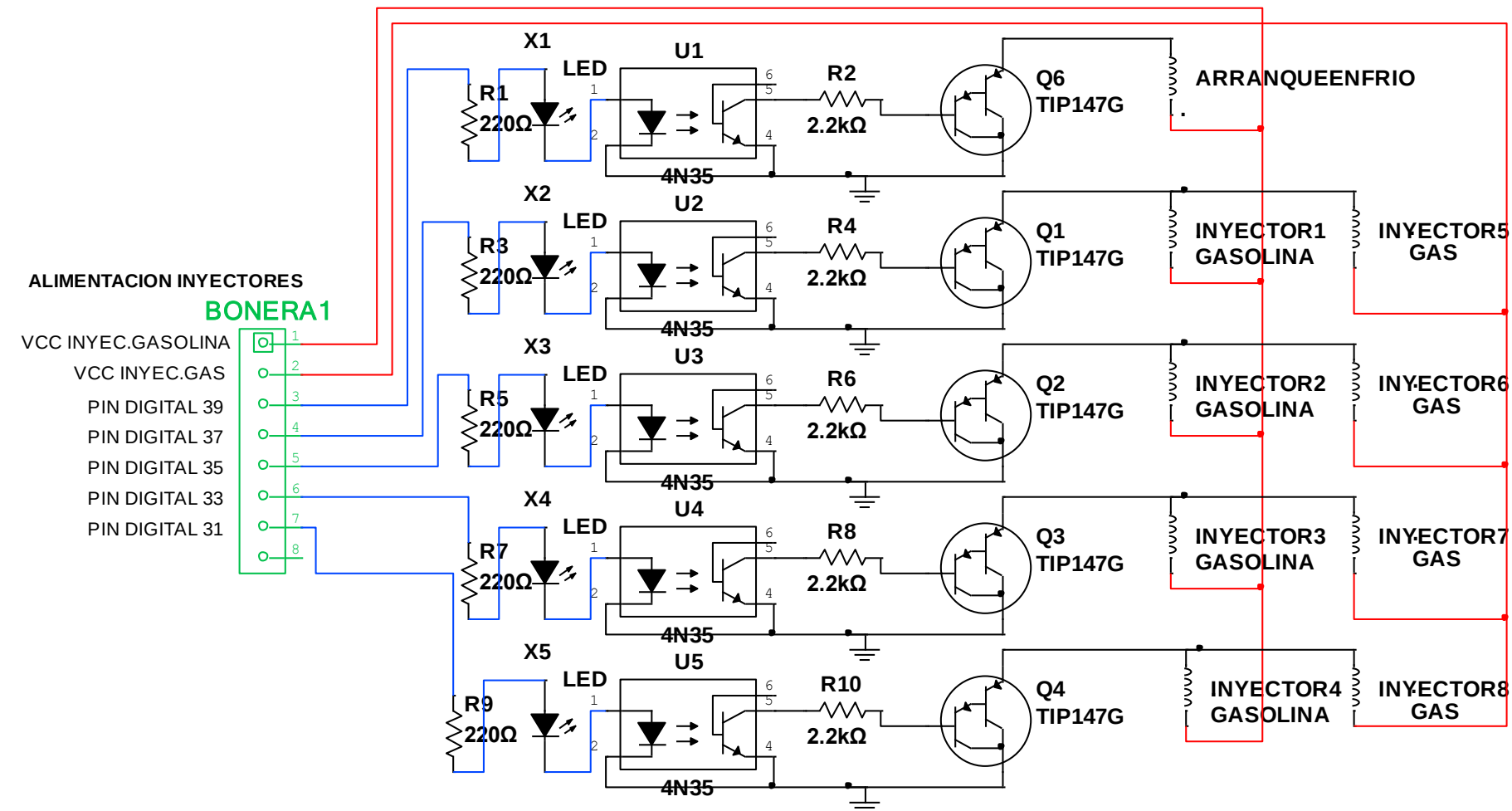
Title: DIAGRAMA DE CONEXION ARDUINO MEGA		
UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA - EPIMMEM		
Designed by: Juan CORDOVA	Document N: 1	Revision: 1
Checked by: Sergio Mestas	Date: 20/03/2018	Size: B
Approved by: Sergio Mestas	Sheet 1 of 4	

CIRCUITO DE ALIMENTACION DE PLACA ELECTRONICA



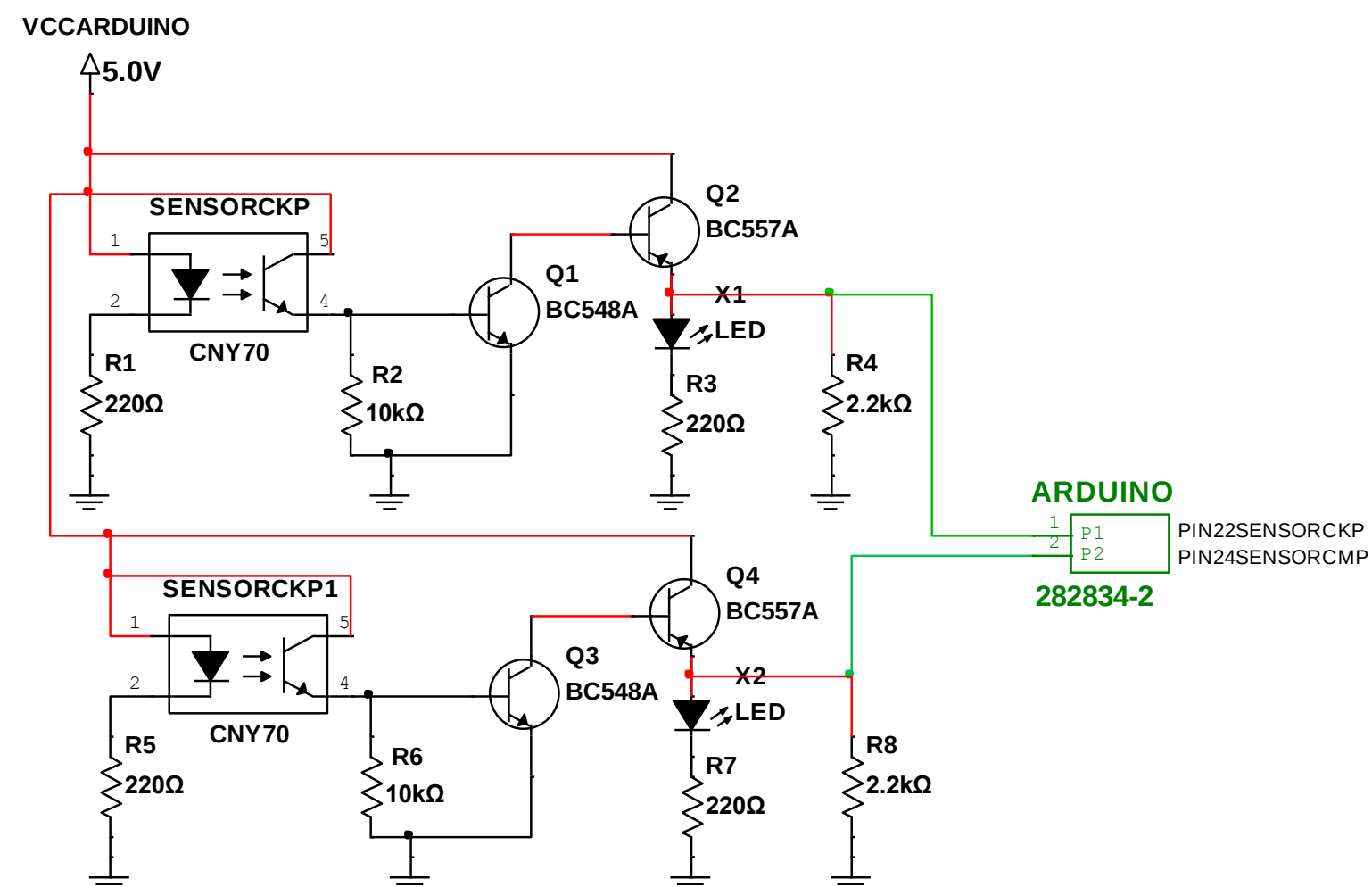
Title: CIRCUITO DE ALIMENTACION DE PLACA ELECTRONICA		
UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA - EPIMMEM		
Designed by: Juan CORDOVA	Document N: 1	Revision: 1
Checked by: Sergio Mestas	Date: 20/03/2018	Size: A
Approved by: Sergio Mestas	Sheet 2 of 4	

CIRCUITO DE POTENCIA



Title: CIRCUITO DE POTENCIA		
UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA - EPIMMEM		
Designed by: Juan CORDOVA	Document N: 1	Revision: 1
Checked by: Sergio Mestas	Date: 20/03/2018	Size: A
Approved by: Sergio Mestas	Sheet 3 of 4	

CIRCUITO DE ADAPTACION SENSORES CKP Y CMP



Title: CIRCUITO DE ADAPTACION SENSORES CKP Y CMP

UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA - EPIMMEM

Designed by: Juan CORDOVA

Document N: 1

Revision: 1

Checked by: Sergio Mestas

Date: 20/03/2018

Size: A

Approved by: Sergio Mestas

Sheet 4 of 4

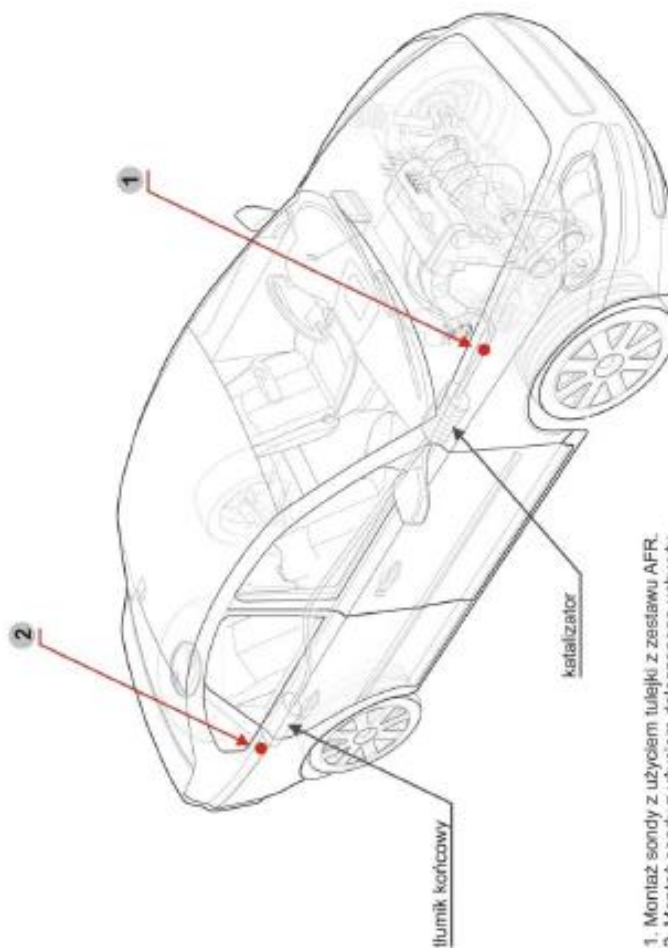
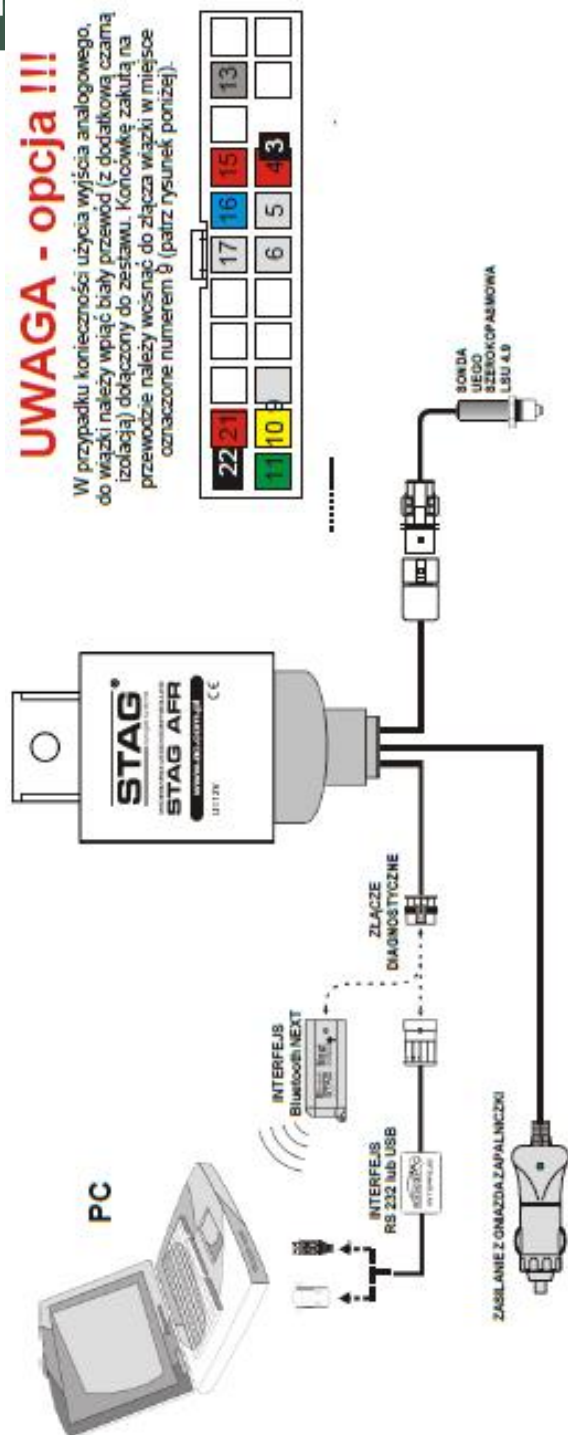


ANEXOS



KIT AFR STAG

W przypadku konieczności użycia wyjścia analogowego, do wiązki należy wpiąć biały przewód (z dodatkową szlamą izolacją) dołączony do zestawu. Końcówkę szlaku na przewodzie należy wcisnąć do złącza wiązki w miejsce oznaczone numerem 8 (patrz rysunek poniżej).



1. Montaż sondy z użyciem tulejki z zestawu AFR.
2. Montaż sondy z użyciem dotychczasowego uchwyty.

Schemat podłączenia do instalacji samochodu

STAG AFR

Miejsce montažu sondy Lambda

104-128.95.00.1 z dn. 10.12.2014"



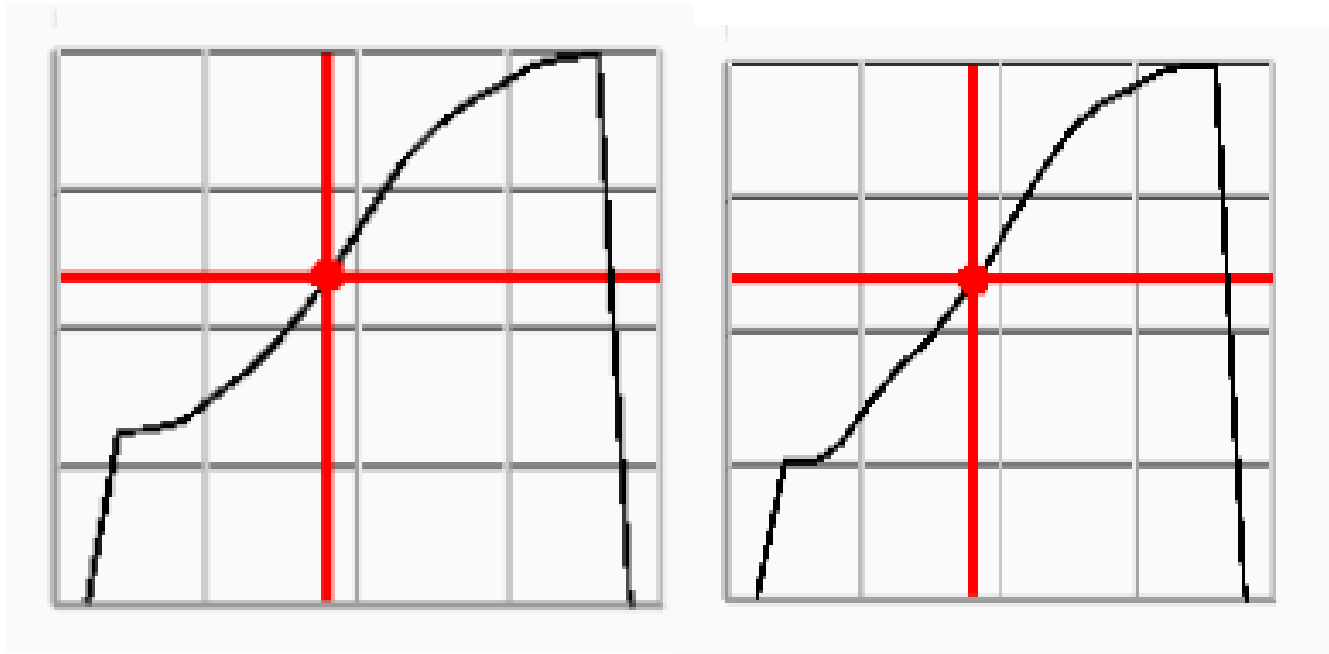
AC S.A.

15-181 Białystok, ul. 42 Pułku Piechoty 50
tel. +48 85 743 81 00, fax +48 85 653 93 83
www.sio.com.pl | info@sio.com.pl

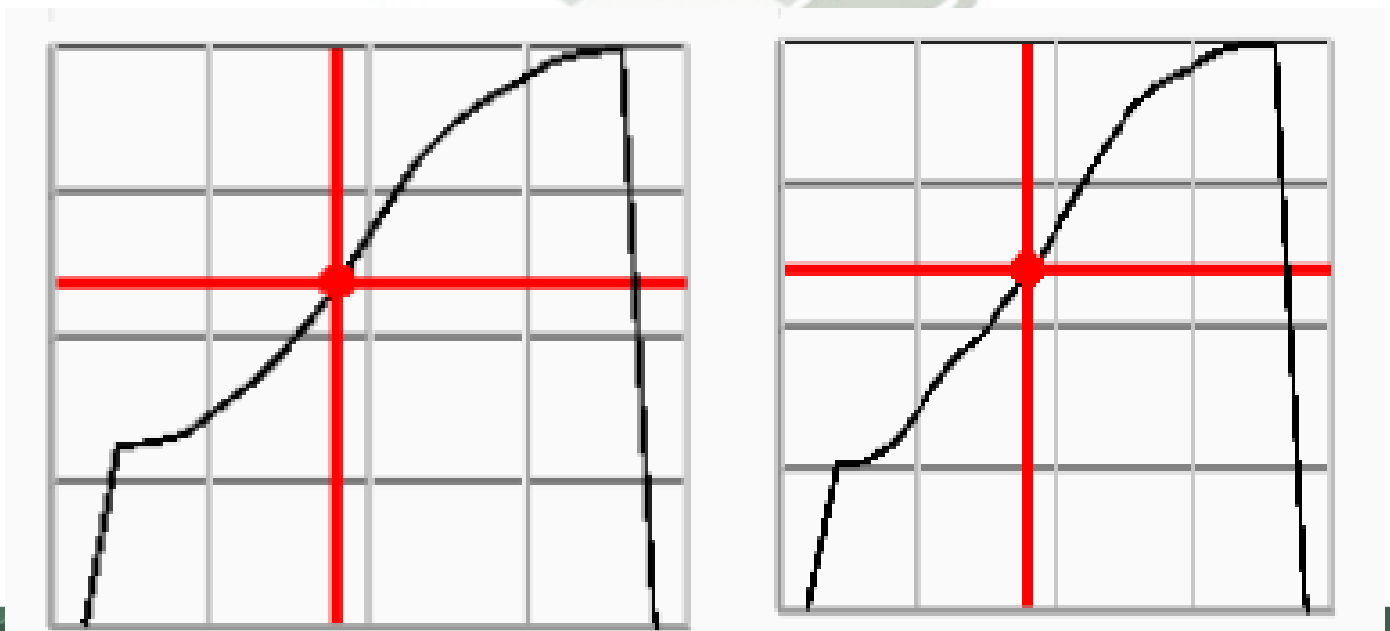
GRAFICAS DE LAS FUNCIONES DE PERTENENCIA



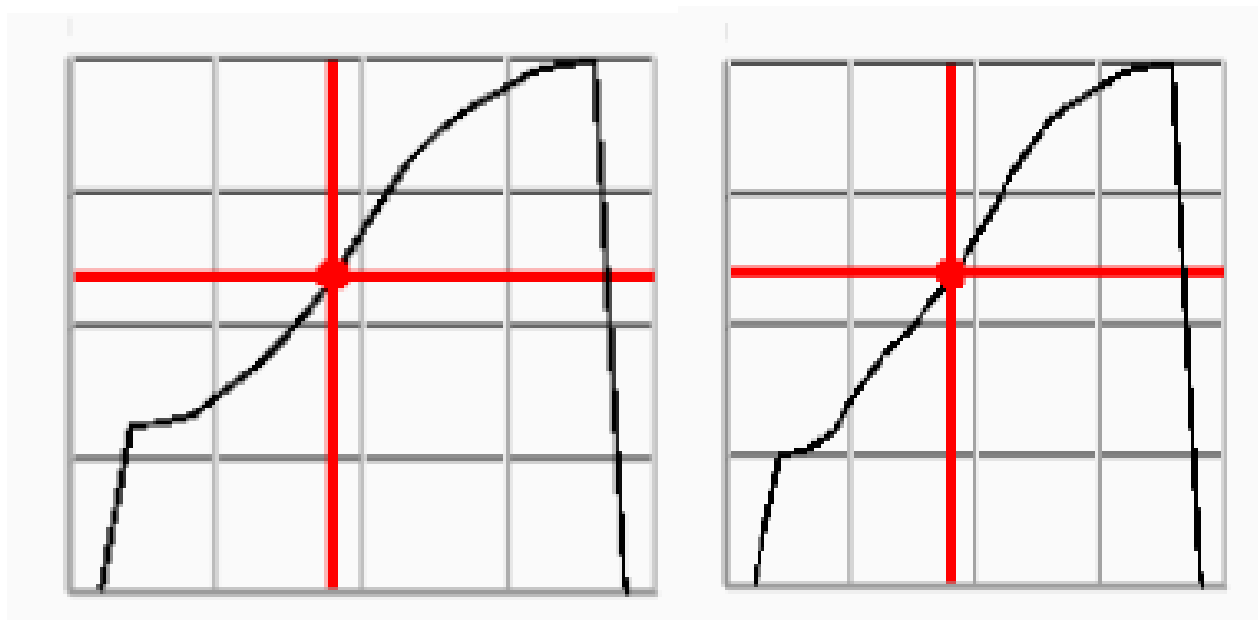
TRIANGULAR VS GAUSIANA



TRIANGULAR VS SIGMOID



TRIANGULAR VS TRAPEZOIDE





FOTOTRANSISTOR CNY 70



www.vishay.com

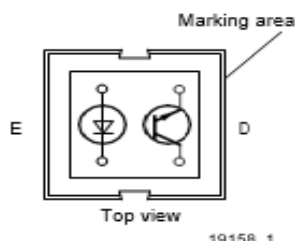
CNY70

Vishay Semiconductors

Reflective Optical Sensor with Transistor Output



21835



19158_1

DESCRIPTION

The CNY70 is a reflective sensor that includes an infrared emitter and phototransistor in a leaded package which blocks visible light.

FEATURES

- Package type: leaded
- Detector type: phototransistor
- Dimensions (L x W x H in mm): 7 x 7 x 6
- Peak operating distance: < 0.5 mm
- Operating range within > 20 % relative collector current: 0 mm to 5 mm
- Typical output current under test: $I_C = 1$ mA
- Emitter wavelength: 950 nm
- Daylight blocking filter
- Lead (Pb)-free soldering released
- Material categorization: For definitions of compliance please see www.vishay.com/doc?99912



RoHS
COMPLIANT

APPLICATIONS

- Optoelectronic scanning and switching devices i.e., index sensing, coded disk scanning etc. (optoelectronic encoder assemblies).

PRODUCT SUMMARY

PART NUMBER	DISTANCE FOR MAXIMUM CTR _{rel} (1) (mm)	DISTANCE RANGE FOR RELATIVE $I_{out} > 20\%$ (mm)	TYPICAL OUTPUT CURRENT UNDER TEST (2) (mA)	DAYLIGHT BLOCKING FILTER INTEGRATED
CNY70	0	0 to 5	1	Yes

Notes

(1) CTR: current transfer ratio, I_{out}/I_{in}

(2) Conditions like in table basic characteristics/sensors

ORDERING INFORMATION

ORDERING CODE	PACKAGING	VOLUME (1)	REMARKS
CNY70	Tube	MOQ: 4000 pcs, 80 pcs/tube	-

Note

(1) MOQ: minimum order quantity

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS ($T_{amb} = 25^\circ\text{C}$, unless otherwise specified)

PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	VALUE	UNIT
COUPLER				
Total power dissipation	$T_{amb} \leq 25^\circ\text{C}$	P_{tot}	200	mW
Ambient temperature range		T_{amb}	- 40 to + 85	$^\circ\text{C}$
Storage temperature range		T_{stg}	- 40 to + 100	$^\circ\text{C}$
Soldering temperature	Distance to case 2 mm, $t \leq 5$ s	T_{sd}	260	$^\circ\text{C}$
INPUT (EMITTER)				
Reverse voltage		V_R	5	V
Forward current		I_F	50	mA
Forward surge current	$t_n \leq 10 \mu\text{s}$	I_{FSM}	3	A
Power dissipation	$T_{amb} \leq 25^\circ\text{C}$	P_V	100	mW
Junction temperature		T_J	100	$^\circ\text{C}$

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS ($T_{amb} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, unless otherwise specified)				
PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	VALUE	UNIT
OUTPUT (DETECTOR)				
Collector emitter voltage		V_{CEO}	32	V
Emitter collector voltage		V_{ECO}	7	V
Collector current		I_C	50	mA
Power dissipation	$T_{amb} \leq 25\text{ }^{\circ}\text{C}$	P_V	100	mW
Junction temperature		T_J	100	$^{\circ}\text{C}$

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

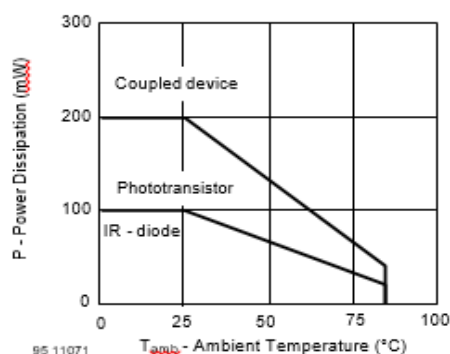


Fig. 1 - Power Dissipation vs. Ambient Temperature

BASIC CHARACTERISTICS ($T_{amb} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, unless otherwise specified)						
PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
COUPLER						
Collector current	$V_{CE} = 5\text{ V}$, $I_F = 20\text{ mA}$, $d = 0.3\text{ mm}$ (figure 1)	$I_C^{(2)}$	0.3	1.0		mA
Cross talk current	$V_{CE} = 5\text{ V}$, $I_F = 20\text{ mA}$, (figure 2)	$I_{CX}^{(3)}$			600	nA
Collector emitter saturation voltage	$I_F = 20\text{ mA}$, $I_C = 0.1\text{ mA}$, $d = 0.3\text{ mm}$ (figure 1)	$V_{CEsat}^{(2)}$			0.3	V
INPUT (EMITTER)						
Forward voltage	$I_F = 50\text{ mA}$	V_F		1.25	1.6	V
Radiant intensity	$I_F = 50\text{ mA}$, $t_o = 20\text{ ms}$	I_R			7.5	mW/sr
Peak wavelength	$I_F = 100\text{ mA}$	λ_P	940			nm
Virtual source diameter	Method: 63 % encircled energy	d		1.2		mm
OUTPUT (DETECTOR)						
Collector emitter voltage	$I_C = 1\text{ mA}$	V_{CEO}	32			V
Emitter collector voltage	$I_E = 100\text{ }\mu\text{A}$	V_{ECO}	5			V
Collector dark current	$V_{CE} = 20\text{ V}$, $I_F = 0\text{ A}$, $E = 0\text{ lx}$	I_{CEO}			200	nA

Notes

(1) Measured with the "Kodak neutral test card", white side with 90 % diffuse reflectance

(2) Measured without reflecting medium



www.vishay.com

CNY70

Vishay Semiconductors

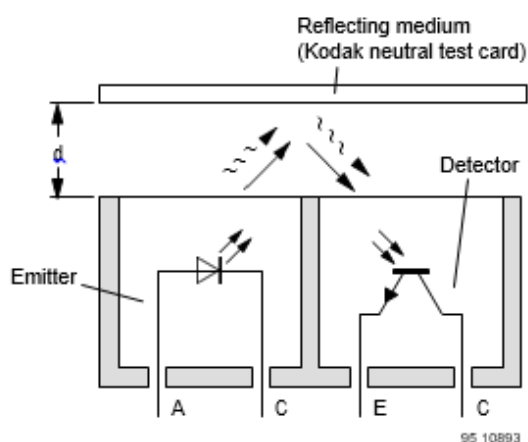


Fig. 2 - Test Condition

BASIC CHARACTERISTICS ($T_{amb} = 25^\circ\text{C}$, unless otherwise specified)

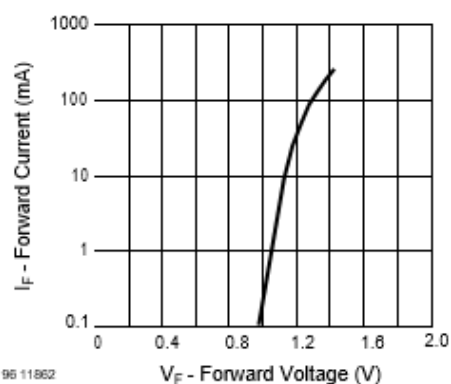


Fig. 3 - Forward Current vs. Forward Voltage

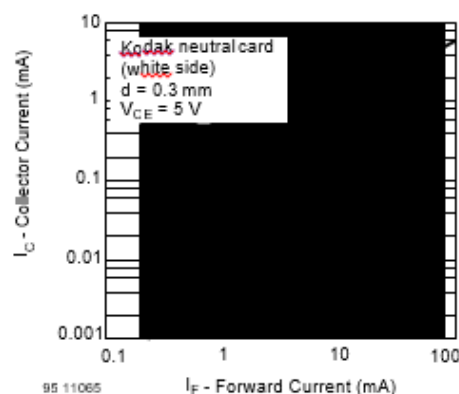


Fig. 5 - Collector Current vs. Forward Current

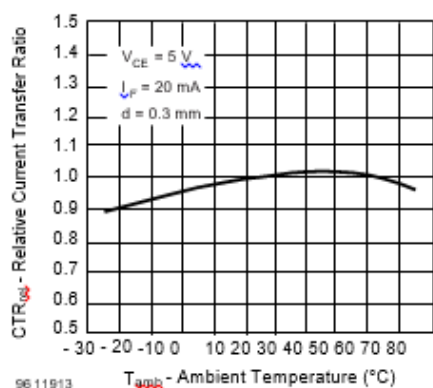


Fig. 4 - Relative Current Transfer Ratio vs. Ambient Temperature

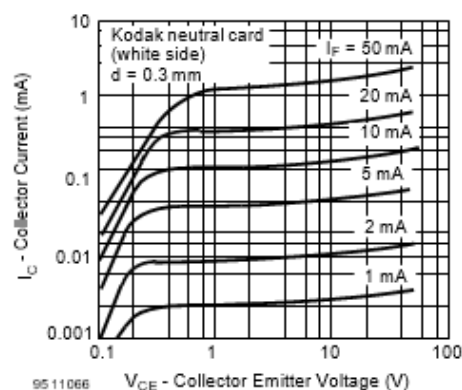


Fig. 6 - Collector Current vs. Collector Emitter Voltage



www.vishay.com

CNY70

Vishay Semiconductors

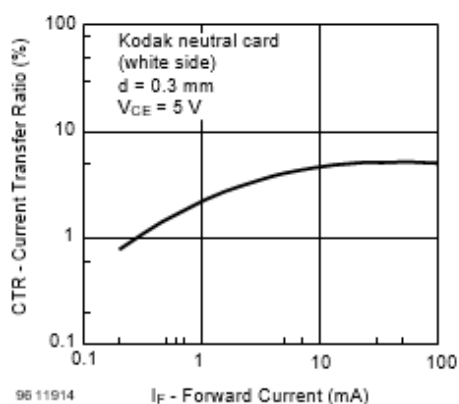


Fig. 7 - Current Transfer Ratio vs. Forward Current

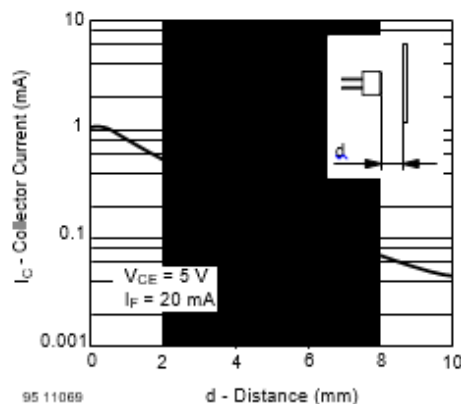


Fig. 9 - Collector Current vs. Distance

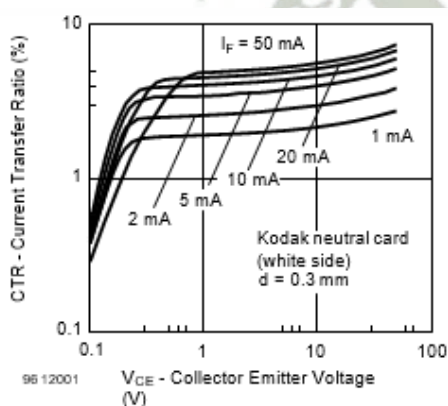


Fig. 8 - Current Transfer Ratio vs. Collector Emitter Voltage

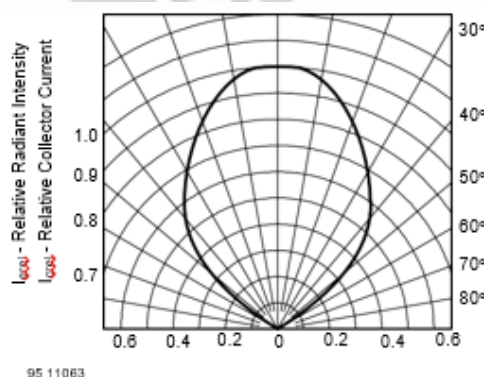


Fig. 10 - Relative Radiant Intensity/Collector Current vs. Angular Displacement

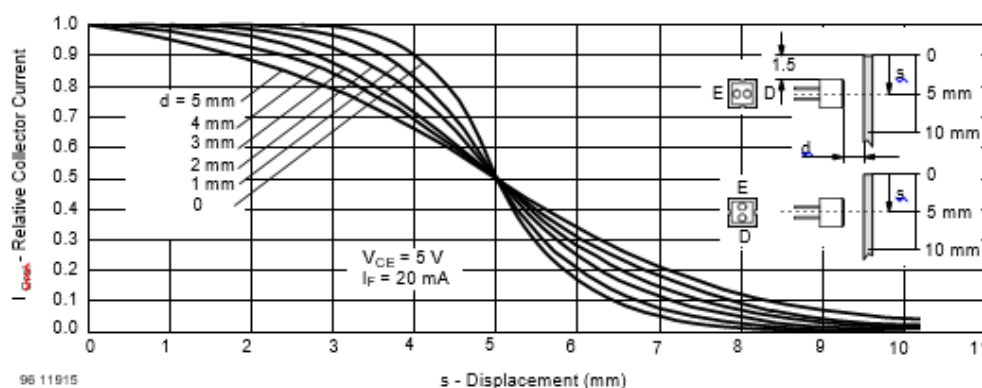


Fig. 11 - Relative Collector Current vs. Displacement

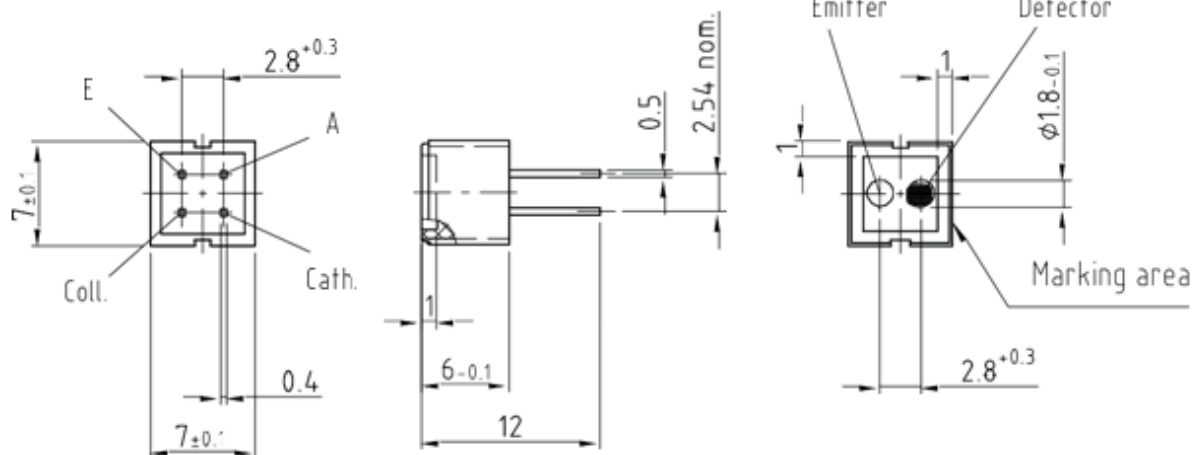


www.vishay.com

CNY70

Vishay Semiconductors

PACKAGE DIMENSIONS in millimeters

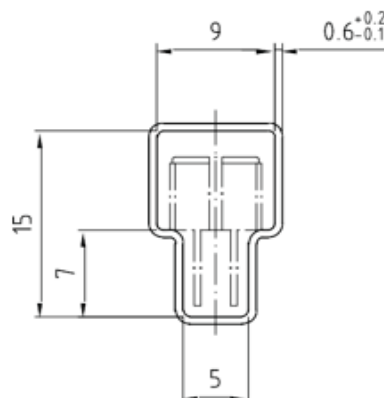


weight: ca. 0.70g



Drawing-No.: 6.544-5062.01-4
Issue: 6; 03.05.06
95 11345

TUBE DIMENSIONS in millimeters



With rubber stopper
Tolerance: ± 0.5 mm
Length: 57.5 ± 1 mm

Drawing-No.: 9.700-5097.01-4
Issue: 1; 25.02.00

20291



Packaging and Ordering Information

Vishay Semiconductors

Packaging and Ordering Information

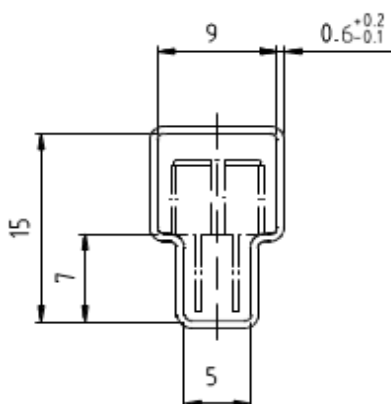
PART NUMBER	MOQ ⁽¹⁾	PCS PER TUBE	TUBE SPEC. (FIGURE)	CONSTITUENTS (FORMS)
CNY70	4000	80	1	28
TCPT1300X01	2000	Reel	⁽²⁾	29
TCRT1000	1000	Bulk	-	26
TCRT1010	1000	Bulk	-	26
TCRT5000	4500	50	2	27
TCRT5000L	2400	48	3	27
TCST1030	5200	65	5	24
TCST1030L	2600	65	6	24
TCST1103	1020	85	4	24
TCST1202	1020	85	4	24
TCST1230	4800	60	7	24
TCST1300	1020	85	4	24
TCST2103	1020	85	4	24
TCST2202	1020	85	4	24
TCST2300	1020	85	4	24
TCST5250	4860	30	8	24
TCUT1300X01	2000	Reel	⁽²⁾	29
TCZT8020-PAER	2500	Bulk	-	22

Notes

⁽¹⁾ MOQ: minimum order quantity

⁽²⁾ Please refer to datasheets

TUBE SPECIFICATION FIGURES



With rubber stopper

Tolerance: $\pm 0.5\text{mm}$

Length: $575 \pm 1\text{mm}$

Drawing-No. 9.700-5097.01-4

Issue: 1; 25.02.00

15198

.32

Fig. 1

Packaging and Ordering Information

Vishay Semiconductors Packaging and Ordering Information

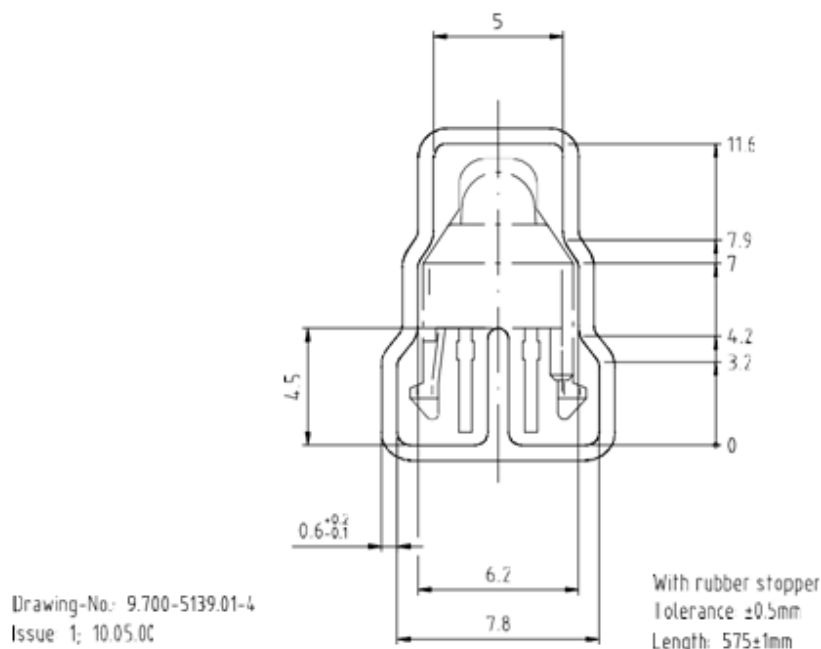


Fig. 2

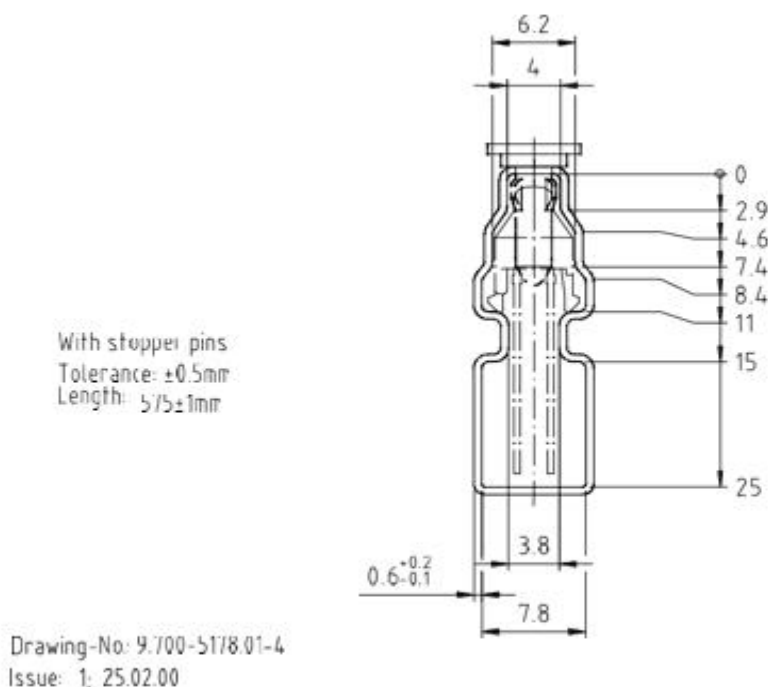
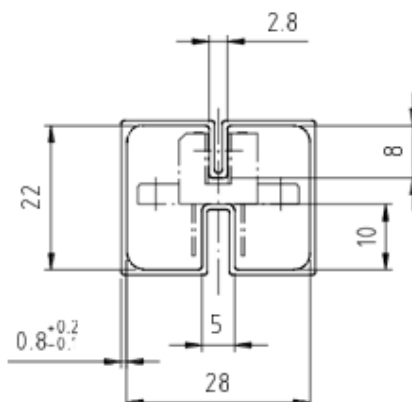


Fig. 3



Packaging and Ordering Information

Packaging and Ordering Information Vishay Semiconductors

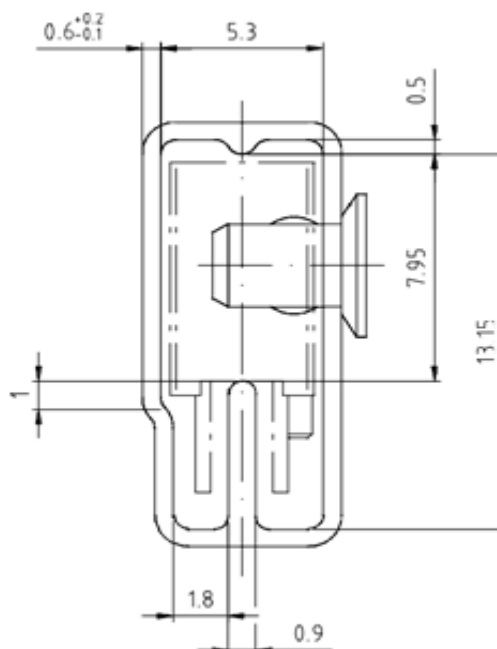


With rubber stopper
Tolerance: $\pm 0.5\text{mm}$
Length: $575 \pm 1\text{mm}$

Drawing-No.: 9.700-5100.01-4
Issue: 1; 25.02.00

15199

Fig. 4



With stopper pins
Tolerance: $\pm 0.5\text{mm}$
Length: $575 \pm 1\text{mm}$

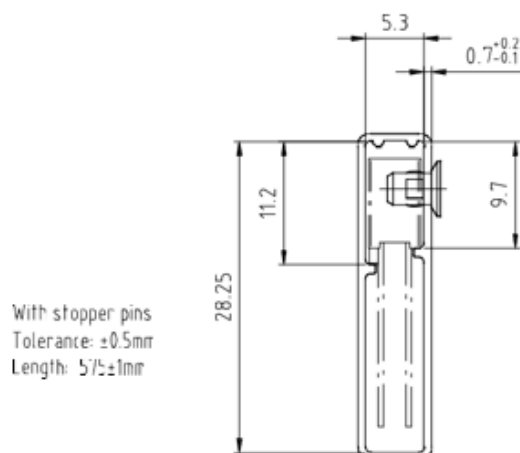
Drawing-No.: 9.700-5140.01-4
Issue: 1; 25.02.00

15202

Fig. 5

Packaging and Ordering Information

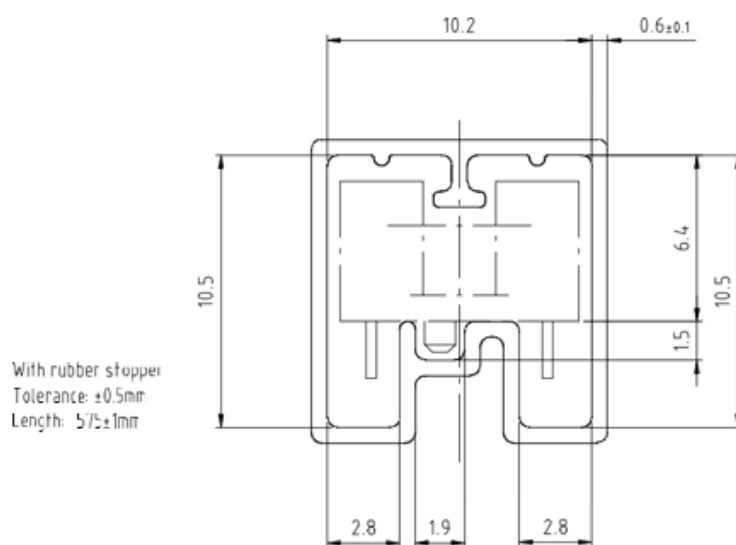
Vishay Semiconductors Packaging and Ordering Information



Drawing-No: 9.700-5205.01-4
Issue: 1; 25.02.00

15196

Fig. 6



Drawing-No: 9.700-5245.01-4
Issue: 1; 25.02.00

15195

Fig. 7



Packaging and Ordering Information

Packaging and Ordering Information Vishay Semiconductors

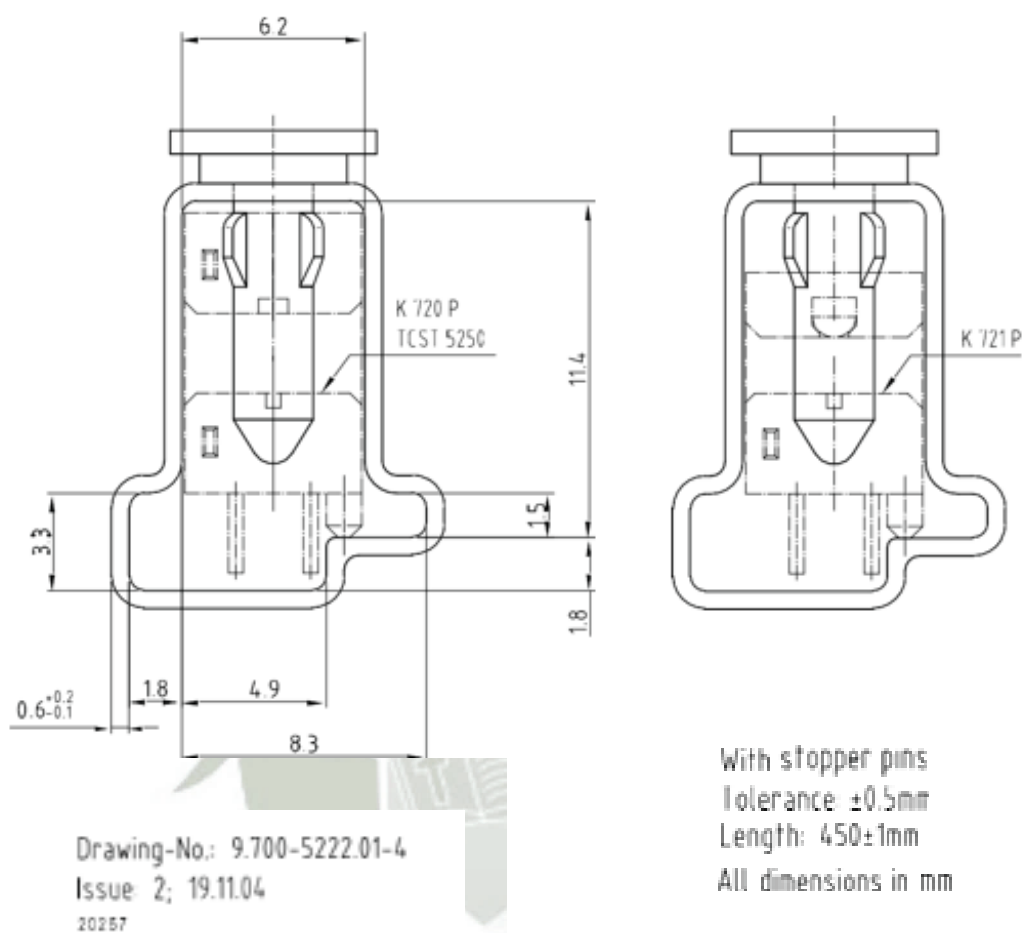


Fig. 8



www.vishay.com

Legal Disclaimer Notice

Vishay

Disclaimer

ALL PRODUCT, PRODUCT SPECIFICATIONS AND DATA ARE SUBJECT TO CHANGE WITHOUT NOTICE TO IMPROVE RELIABILITY, FUNCTION OR DESIGN OR OTHERWISE.

Vishay ~~Intertechnology~~, Inc., its affiliates, agents, and employees, and all persons acting on its or their behalf (collectively, "Vishay"), disclaim any and all liability for any errors, inaccuracies or incompleteness contained in any datasheet or in any other disclosure relating to any product.

Vishay makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of the products for any particular purpose or the continuing production of any product. To the maximum extent permitted by applicable law, Vishay disclaims (i) any and all liability arising out of the application or use of any product, (ii) any and all liability, including without limitation special, consequential or incidental damages, and (iii) any and all implied warranties, including warranties of fitness for particular purpose, non-infringement and merchantability.

Statements regarding the suitability of products for certain types of applications are based on Vishay's knowledge of typical requirements that are often placed on Vishay products in generic applications. Such statements are not binding statements about the suitability of products for a particular application. It is the customer's responsibility to validate that a particular product with the properties described in the product specification is suitable for use in a particular application. Parameters provided in datasheets and / or specifications may vary in different applications and performance may vary over time. All operating parameters, including typical parameters, must be validated for each customer application by the customer's technical experts. Product specifications do not expand or otherwise modify Vishay's terms and conditions of purchase, including but not limited to the warranty expressed therein.

Except as expressly indicated in writing, Vishay products are not designed for use in medical, life-saving, or life-sustaining applications or for any other application in which the failure of the Vishay product could result in personal injury or death. Customers using or selling Vishay products not expressly indicated for use in such applications do so at their own risk. Please contact authorized Vishay personnel to obtain written terms and conditions regarding products designed for such applications.

No license, express or implied, by estoppel or otherwise, to any intellectual property rights is granted by this document or by any conduct of Vishay. Product names and markings noted herein may be trademarks of their respective owners.

OPTOACOPLADOR 4N35

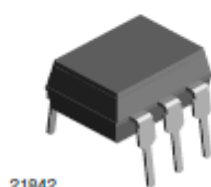




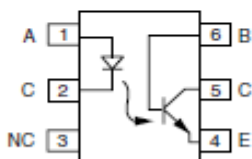
4N35, 4N36, 4N37

Vishay Semiconductors

Optocoupler, Phototransistor Output, with Base Connection



21842



1179004-6

DESCRIPTION

Each optocoupler consists of gallium arsenide infrared LED and a silicon NPN phototransistor.

AGENCY APPROVALS

- Underwriters laboratory file no. E52744
- BSI: EN 60065:2002, EN 60950:2000
- FIMKO; EN 60065, EN 60335, EN 60950 certificate no. 25156

FEATURES

- Isolation test voltage 5000 V_{RMS}
- Interfaces with common logic families
- Input-output coupling capacitance < 0.5 pF
- Industry standard dual-in-line 6 pin package
- Compliant to RoHS directive 2002/95/EC and in accordance to WEEE 2002/96/EC



RoHS
COMPLIANT

APPLICATIONS

- AC mains detection
- Reed relay driving
- Switch mode power supply feedback
- Telephone ring detection
- Logic ground isolation
- Logic coupling with high frequency noise rejection

ORDER INFORMATION

PART	REMARKS
4N35	CTR > 100 %, DIP-6
4N36	CTR > 100 %, DIP-6
4N37	CTR > 100 %, DIP-6

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS ⁽¹⁾

PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	VALUE	UNIT
INPUT				
Reverse voltage		V _R	6	V
Forward current		I _F	50	mA
Surge current	t ≤ 10 μs	I _{FSM}	1	A
Power dissipation		P _{dis}	70	mW
OUTPUT				
Collector emitter breakdown voltage		V _{CEO}	70	V
Emitter base breakdown voltage		V _{EB0}	7	V
Collector current	t ≤ 1 ms	I _C	50	mA
		I _C	100	mA
Power dissipation		P _{dis}	70	mW
COUPLER				
Isolation test voltage		V _{ISO}	5000	V _{RMS}
Creepage			≥ 7	mm
Clearance			≥ 7	mm
Isolation thickness between emitter and detector			≥ 0.4	mm

4N35, 4N36, 4N37



Vishay Semiconductors Optocoupler, Phototransistor Output,
with Base Connection

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS ⁽¹⁾				
PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	VALUE	UNIT
COUPLER				
Comparative tracking index	DIN IEC 112/VDE 0303, part 1		175	
Isolation resistance	$V_{IO} = 500 \text{ V}, T_{amb} = 25^\circ\text{C}$	R_{IO}	10^{12}	Ω
	$V_{IO} = 500 \text{ V}, T_{amb} = 100^\circ\text{C}$	R_{IO}	10^{11}	Ω
Storage temperature		T_{stg}	- 55 to + 150	$^\circ\text{C}$
Operating temperature		T_{amb}	- 55 to + 100	$^\circ\text{C}$
Junction temperature		T_J	100	$^\circ\text{C}$
Soldering temperature ⁽²⁾	max.10 s dip soldering: distance to seating plane $\geq 1.5 \text{ mm}$	T_{sld}	260	$^\circ\text{C}$

Notes

⁽¹⁾ $T_{amb} = 25^\circ\text{C}$, unless otherwise specified.

Stresses in excess of the absolute maximum ratings can cause permanent damage to the device. Functional operation of the device is not implied at these or any other conditions in excess of those given in the operational sections of this document. Exposure to absolute maximum ratings for extended periods of the time can adversely affect reliability.

⁽²⁾ Refer to wave profile for soldering conditions for through hole devices (DIP).

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ⁽¹⁾							
PARAMETER	TEST CONDITION	PART	SYMBOL	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
INPUT							
Junction capacitance	$V_R = 0 \text{ V}, f = 1 \text{ MHz}$		C_J		50		pF
Forward voltage ⁽²⁾	$I_F = 10 \text{ mA}$		V_F		1.3	1.5	V
	$I_F = 10 \text{ mA}, T_{amb} = - 55^\circ\text{C}$		V_F	0.9	1.3	1.7	V
Reverse current ⁽²⁾	$V_R = 6 \text{ V}$		I_R		0.1	10	μA
Capacitance	$V_R = 0 \text{ V}, f = 1 \text{ MHz}$		C_O		25		pF
OUTPUT							
Collector emitter breakdown voltage ⁽²⁾	$I_C = 1 \text{ mA}$	4N35	BV_{CEO}	30			V
		4N36	BV_{CEO}	30			V
		4N37	BV_{CEO}	30			V
Emitter collector breakdown voltage ⁽²⁾	$I_E = 100 \mu\text{A}$		BV_{ECO}	7			V
OUTPUT							
Collector base breakdown voltage ⁽²⁾	$I_C = 100 \mu\text{A}, I_B = 1 \mu\text{A}$	4N35	BV_{CBO}	70			V
		4N36	BV_{CBO}	70			V
		4N37	BV_{CBO}	70			V
Collector emitter leakage current ⁽²⁾	$V_{CE} = 10 \text{ V}, I_F = 0$	4N35	I_{CEO}		5	50	nA
		4N36	I_{CEO}		5	50	nA
	$V_{CE} = 10 \text{ V}, I_F = 0$	4N37	I_{CEO}		5	50	nA
	$V_{CE} = 30 \text{ V}, I_F = 0, T_{amb} = 100^\circ\text{C}$	4N35	I_{CEO}			500	μA
		4N36	I_{CEO}			500	μA
		4N37	I_{CEO}			500	μA
Collector emitter capacitance	$V_{CE} = 0$		C_{CE}		6		pF
COUPLER							
Resistance, input output ⁽²⁾	$V_{IO} = 500 \text{ V}$		R_{IO}	10^{11}			Ω
Capacitance, input output	$f = 1 \text{ MHz}$		C_{IO}		0.6		pF

Notes

⁽¹⁾ $T_{amb} = 25^\circ\text{C}$, unless otherwise specified.

Minimum and maximum values are testing requirements. Typical values are characteristics of the device and are the result of engineering evaluation. Typical values are for information only and are not part of the testing requirements.

⁽²⁾ Indicates JEDEC registered value.



4N35, 4N36, 4N37

Optocoupler, Phototransistor Output, Vishay Semiconductors
with Base Connection

CURRENT TRANSFER RATIO							
PARAMETER	TEST CONDITION	PART	SYMBOL	MIN	TYP.	MAX	UNIT
DC current transfer ratio ⁽¹⁾	$V_{CE} = 10 \text{ V}$, $I_F = 10 \text{ mA}$	4N35	CTR_{DC}	100			%
		4N36	CTR_{DC}	100			%
		4N37	CTR_{DC}	100			%
	$V_{CE} = 10 \text{ V}$, $I_F = 10 \text{ mA}$, $T_A = -55^\circ\text{C}$ to $+100^\circ\text{C}$	4N35	CTR_{DC}	40	50		%
		4N36	CTR_{DC}	40	50		%
		4N37	CTR_{DC}	40	50		%

Note

⁽¹⁾ Indicates JEDEC registered values.

SWITCHING CHARACTERISTICS						
PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Switching time ⁽¹⁾	V _{CC} = 10 V, I _C = 2 mA, R _L = 100 Ω	t _{on} , t _{off}		10		μs

Note

⁽¹⁾ Indicates JEDEC registered values.

TYPICAL CHARACTERISTICS

$T_{amb} = 25^\circ\text{C}$, unless otherwise specified

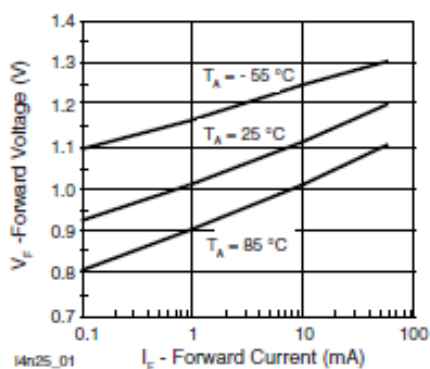


Fig. 1 - Forward Voltage vs. Forward Current

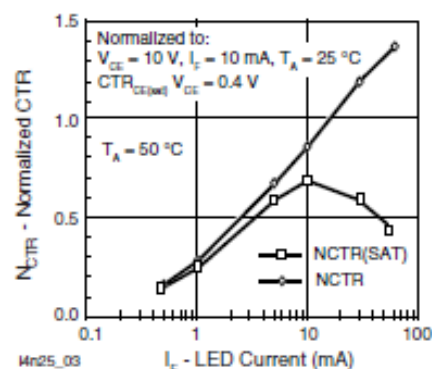


Fig. 3 - Normalized Non-Saturated and Saturated CTR vs. LED Current

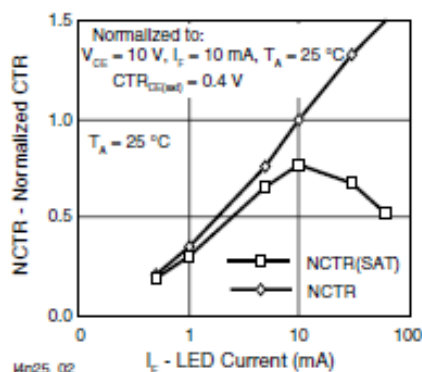


Fig. 2 - Normalized Non-Saturated and Saturated CTR vs. LED Current

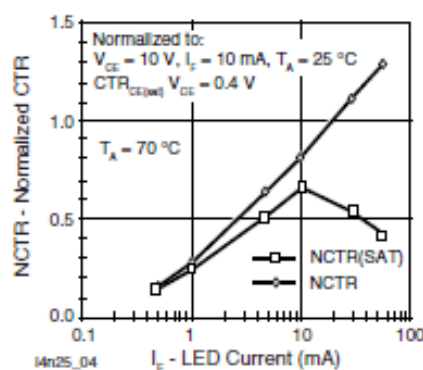


Fig. 4 - Normalized Non-Saturated and Saturated CTR vs. LED Current

4N35, 4N36, 4N37

Vishay Semiconductors Optocoupler, Phototransistor Output,
with Base Connection

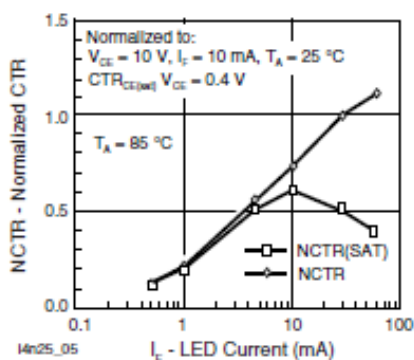


Fig. 5 - Normalized Non-Saturated and Saturated CTR vs. LED Current

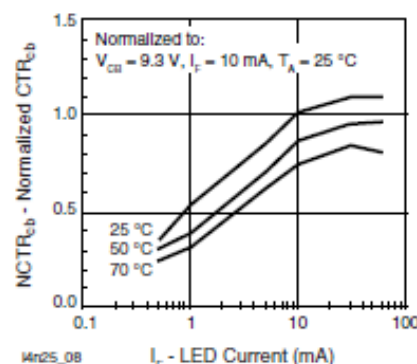


Fig. 8 - Normalized CTR_{cb} vs. LED Current and Temperature

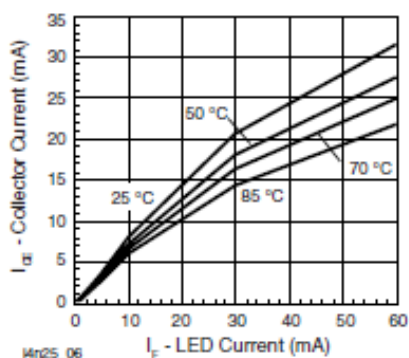


Fig. 6 - Collector Emitter Current vs. Temperature and LED Current

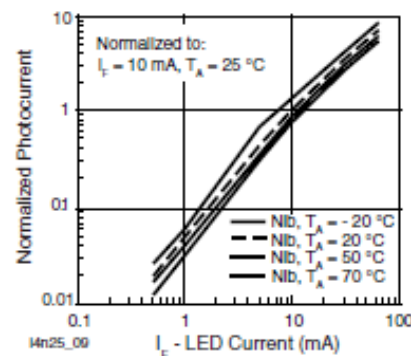


Fig. 9 - Normalized Photocurrent vs. I_F and Temperature

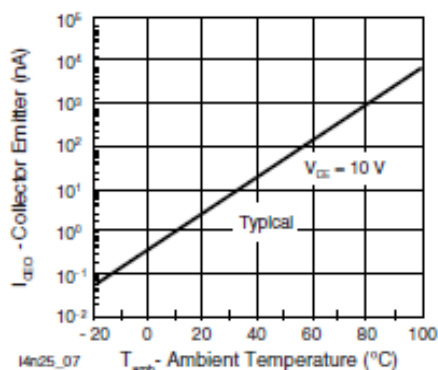


Fig. 7 - Collector Emitter Leakage Current vs. Temperature

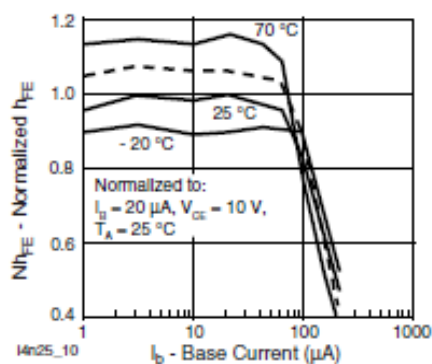


Fig. 10 - Normalized Non-Saturated h_{FE} vs. Base Current and Temperature



4N35, 4N36, 4N37

Optocoupler, Phototransistor Output, Vishay Semiconductors
with Base Connection

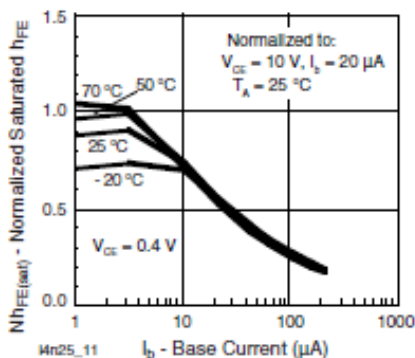
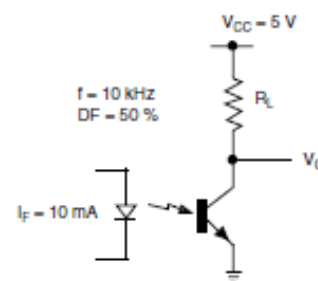


Fig. 11 - Normalized h_{FE} vs. Base Current and Temperature



Mn25_14

Fig. 14 - Switching Schematic

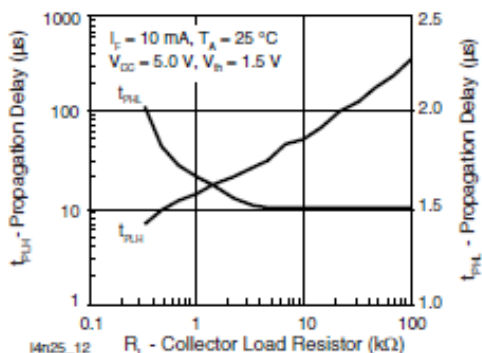
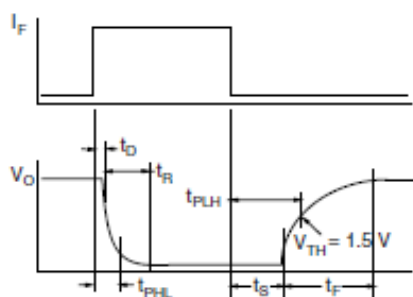


Fig. 12 - Propagation Delay vs. Collector Load Resistor



Mn25_13

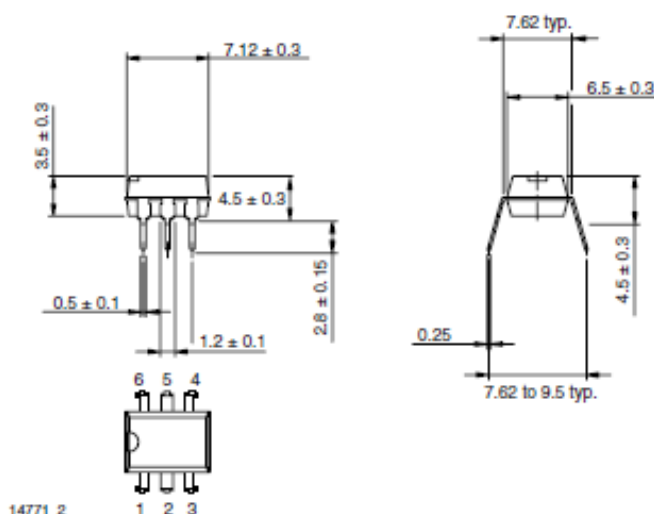
Fig. 13 - Switching Timing

4N35, 4N36, 4N37

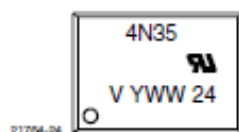
Vishay Semiconductors Optocoupler, Phototransistor Output,
with Base Connection



PACKAGE DIMENSIONS in millimeters



PACKAGE MARKING





www.vishay.com

Legal Disclaimer Notice

Vishay

Disclaimer

ALL PRODUCT, PRODUCT SPECIFICATIONS AND DATA ARE SUBJECT TO CHANGE WITHOUT NOTICE TO IMPROVE RELIABILITY, FUNCTION OR DESIGN OR OTHERWISE.

Vishay Intertechnology, Inc., its affiliates, agents, and employees, and all persons acting on its or their behalf (collectively, "Vishay"), disclaim any and all liability for any errors, inaccuracies or incompleteness contained in any datasheet or in any other disclosure relating to any product.

Vishay makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of the products for any particular purpose or the continuing production of any product. To the maximum extent permitted by applicable law, Vishay disclaims (i) any and all liability arising out of the application or use of any product, (ii) any and all liability, including without limitation special, consequential or incidental damages, and (iii) any and all implied warranties, including warranties of fitness for particular purpose, non-infringement and merchantability.

Statements regarding the suitability of products for certain types of applications are based on Vishay's knowledge of typical requirements that are often placed on Vishay products in generic applications. Such statements are not binding statements about the suitability of products for a particular application. It is the customer's responsibility to validate that a particular product with the properties described in the product specification is suitable for use in a particular application. Parameters provided in datasheets and / or specifications may vary in different applications and performance may vary over time. All operating parameters, including typical parameters, must be validated for each customer application by the customer's technical experts. Product specifications do not expand or otherwise modify Vishay's terms and conditions of purchase, including but not limited to the warranty expressed therein.

Except as expressly indicated in writing, Vishay products are not designed for use in medical, life-saving, or life-sustaining applications or for any other application in which the failure of the Vishay product could result in personal injury or death. Customers using or selling Vishay products not expressly indicated for use in such applications do so at their own risk. Please contact authorized Vishay personnel to obtain written terms and conditions regarding products designed for such applications.

No license, express or implied, by estoppel or otherwise, to any intellectual property rights is granted by this document or by any conduct of Vishay. Product names and markings noted herein may be trademarks of their respective owners.



REGULADOR DE VOLTAJE 7809 - 7812





April 1999

Revised October 2005

LM7805 • LM7806 • LM7808 • LM7809 • LM7810 • LM7812 • LM7815 • LM7818 • LM7824 • LM7805A • LM7806A • LM7808A • LM7809A • LM7810A • LM7812A • LM7815A • LM7818A • LM7824A 3-Terminal 1A Positive Voltage Regulator (Preliminary)

General Description

The LM78XX series of three terminal positive regulators are available in the TO-220 package and with several fixed output voltages, making them useful in a wide range of applications. Each type employs internal current limiting, thermal shut down and safe operating area protection, making it essentially indestructible. If adequate heat sinking is provided, they can deliver over 1A output current. Although designed primarily as fixed voltage regulators, these devices can be used with external components to obtain adjustable voltages and currents.

Features

- Output Current up to 1A
- Output Voltages of 5, 6, 8, 9, 12, 15, 18, 24
- Thermal Overload Protection
- Short Circuit Protection
- Output Transistor Safe Operating Area Protection

Ordering Code:

Product Number	Output Voltage Tolerance	Package	Operating Temperature
LM7805CT	±4%	TO-220	- 40°C - +125°C
LM7806CT			
LM7808CT			
LM7809CT			
LM7810CT			
LM7812CT			
LM7815CT			
LM7818CT			
LM7824CT			
LM7805ACT	±2%		0°C - +125°C
LM7806ACT			
LM7808ACT			
LM7809ACT			
LM7810ACT			
LM7812ACT			
LM7815ACT			
LM7818ACT			
LM7824ACT			

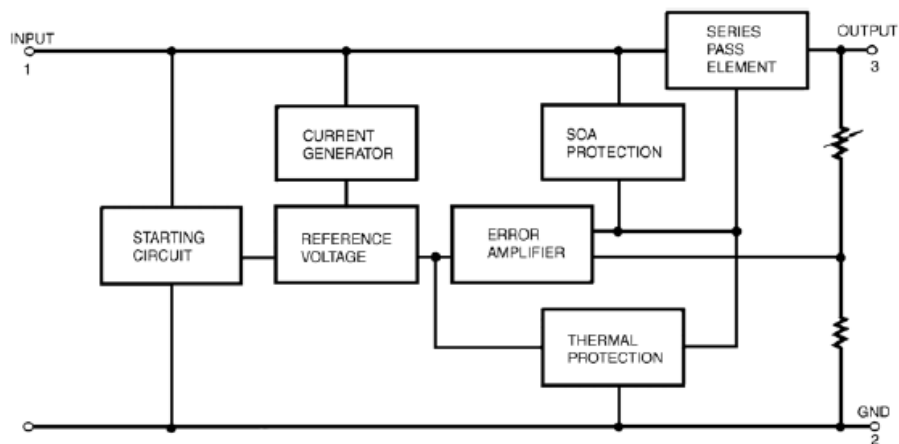
LM7805 • LM7806 • LM7808 • LM7809 • LM7810 • LM7812 • LM7815 • LM7818 • LM7824 • LM7805A • LM7806A • LM7808A • LM7809A • LM7810A • LM7812A • LM7815A • LM7818A • LM7824A 3-Terminal 1A Positive Voltage Regulator (Preliminary)

LM7805 • LM7806 • LM7808 • LM7809 • LM7810 • LM7812 • LM7815 • LM7818 • LM7824 • LM7805A • LM7806A • LM7808A • LM7809A • LM7810A • LM7812A • LM7815A • LM7818A • LM7824A

TO-220



Internal Block Diagram



Absolute Maximum Ratings^(Note 1)

Parameter	Symbol	Value	Unit
Input Voltage (for $V_O = 5V$ to $18V$)	V_I	35	V
(for $V_O = 24V$)	V_I	40	V
Thermal Resistance Junction-Cases (TO-220)	$R_{\theta JC}$	5	$^{\circ}C/W$
Thermal Resistance Junction-Air (TO-220)	$R_{\theta JA}$	65	$^{\circ}C/W$
Operating Temperature Range	T_{OPR}	$0 \sim +125$	$^{\circ}C$
LM78xx		$-40 \sim +125$	$^{\circ}C$
LM78xxA		$0 \sim +125$	$^{\circ}C$
Storage Temperature Range	T_{STG}	$-65 \sim +150$	$^{\circ}C$

Note 1: Absolute maximum ratings are those values beyond which damage to the device may occur. The datasheet specifications should be met, without exception, to ensure that the system design is reliable over its power supply, temperature, and output/input loading variables. Fairchild does not recommend operation outside datasheet specifications.

Electrical Characteristics (LM7805)

(Refer to the test circuits. $-40^{\circ}C < T_J < 125^{\circ}C$, $I_O = 500mA$, $V_I = 10V$, $C_1 = 0.1\mu F$, unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
Output Voltage	V_O	$T_J = +25^{\circ}C$	4.8	5.0	5.2	V
		$5mA \leq I_O \leq 1A$, $P_O \leq 15W$, $V_I = 7V$ to $20V$	4.75	5.0	5.25	
Line Regulation	Regline	$T_J = +25^{\circ}C$	-	4.0	100	mV
(Note 2)		$V_O = 7V$ to $25V$ $V_I = 8V$ to $12V$		1.6	50.0	
Load Regulation	Regload	$T_J = +25^{\circ}C$	-	9.0	100	mV
		$I_O = 5mA$ to $1.5mA$ $I_O = 250mA$ to $750mA$		4.0	50.0	
Quiescent Current	I_Q	$T_J = +25^{\circ}C$	-	5.0	8.0	mA
Quiescent Current Change	ΔI_Q	$I_O = 5mA$ to $1A$	-	0.03	0.5	mA
		$V_I = 7V$ to $25V$	-	0.3	1.3	
Output Voltage Drift (Note 3)	$\Delta V_O / \Delta T$	$I_O = 5mA$	-	-0.8	-	mV/ $^{\circ}C$
Output Noise Voltage	V_N	$f = 10Hz$ to $100KHz$, $T_A = +25^{\circ}C$	-	42.0	-	$\mu V/V_O$
Ripple Rejection (Note 3)	RR	$f = 120Hz$, $V_O = 8V$ to $18V$	62.0	73.0	-	dB
Dropout Voltage	V_{DROP}	$I_O = 1A$, $T_J = +25^{\circ}C$	-	2.0	-	V
Output Resistance (Note 3)	r_O	$f = 1KHz$	-	15.0	-	m Ω
Short Circuit Current	I_{SC}	$V_I = 35V$, $T_A = +25^{\circ}C$	-	230	-	mA
Peak Current (Note 3)	I_{PK}	$T_J = +25^{\circ}C$	-	2.2	-	A

Note 2: Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.

Note 3: These parameters, although guaranteed, are not 100% tested in production.

LM7805 • LM7806 • LM7808 • LM7809 • LM7810 • LM7812 • LM7815 • LM7818 • LM7824 • LM7805A • LM7806A • LM7808A
LM7809A • LM7810A • LM7812A • LM7815A • LM7818A • LM7824A

Electrical Characteristics (LM7806)

(Refer to the test circuits. $-40^{\circ}\text{C} < T_J < 125^{\circ}\text{C}$, $I_O = 500\text{mA}$, $V_I = 11\text{V}$, $C_I = 0.33\mu\text{F}$, $C_O = 0.1\mu\text{F}$, unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
Output Voltage	V_O	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	5.75	6.0	6.25	V
		$5\text{mA} \leq I_O \leq 1\text{A}$, $P_O \leq 15\text{W}$, $V_I = 8.0\text{V to } 21\text{V}$	5.7	6.0	6.3	
Line Regulation (Note 4)	Regline	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$V_I = 8\text{V to } 25\text{V}$	–	5.0	mV
			$V_I = 9\text{V to } 13\text{V}$	–	1.5	
Load Regulation (Note 4)	Regload	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$I_O = 5\text{mA to } 1.5\text{mA}$	–	9.0	mV
			$I_O = 250\text{mA to } 750\text{mA}$	–	3.0	
Quiescent Current	I_Q	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	5.0	8.0	mA
Quiescent Current Change	ΔI_Q	$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$	–	–	0.5	mA
		$V_I = 8\text{V to } 25\text{V}$	–	–	1.3	
Output Voltage Drift (Note 5)	$\Delta V_O / \Delta T$	$I_O = 5\text{mA}$	–	–0.8	–	mV/°C
Output Noise Voltage	V_N	$f = 10\text{Hz to } 100\text{kHz}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	–	45.0	–	$\mu\text{V}/V_O$
Ripple Rejection (Note 5)	RR	$f = 120\text{Hz}$, $V_O = 8\text{V to } 18\text{V}$	62.0	73.0	–	dB
Dropout Voltage	V_{DROP}	$I_O = 1\text{A}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	2.0	–	V
Output Resistance (Note 5)	r_O	$f = 1\text{kHz}$	–	19.0	–	m Ω
Short Circuit Current	I_{SC}	$V_I = 35\text{V}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	–	250	–	mA
Peak Current (Note 5)	I_{PK}	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	2.2	–	A

Note 4: Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.

Note 5: These parameters, although guaranteed, are not 100% tested in production.

Electrical Characteristics (LM7808)

(Refer to the test circuits. $-40^{\circ}\text{C} < T_J < 125^{\circ}\text{C}$, $I_O = 500\text{mA}$, $V_I = 14\text{V}$, $C_I = 0.33\mu\text{F}$, $C_O = 0.1\mu\text{F}$, unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
Output Voltage	V_O	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	7.7	8.0	8.3	V
		$5\text{mA} \leq I_O \leq 1\text{A}$, $P_O \leq 15\text{W}$, $V_I = 10.5\text{V to } 23\text{V}$	7.6	8.0	8.4	
Line Regulation (Note 6)	Regline	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$V_I = 10.5\text{V to } 25\text{V}$	–	5.0	mV
			$V_I = 11.5\text{V to } 17\text{V}$	–	2.0	
Quiescent Current	I_Q	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	5.0	8.0	mA
Quiescent Current Change	ΔI_Q	$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$	–	0.05	0.5	mA
		$V_I = 10.5\text{V to } 25\text{V}$	–	0.5	1.0	
Output Voltage Drift (Note 7)	$\Delta V_O / \Delta T$	$I_O = 5\text{mA}$	–	–0.8	–	mV/°C
Output Noise Voltage	V_N	$f = 10\text{Hz to } 100\text{kHz}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	–	52.0	–	$\mu\text{V}/V_O$
Ripple Rejection (Note 7)	RR	$f = 120\text{Hz}$, $V_O = 11.5\text{V to } 21.5\text{V}$	56.0	73.0	–	dB
Dropout Voltage	V_{DROP}	$I_O = 1\text{A}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	2.0	–	V
Output Resistance (Note 7)	r_O	$f = 1\text{kHz}$	–	17.0	–	m Ω
Short Circuit Current	I_{SC}	$V_I = 35\text{V}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	–	230	–	mA
Peak Current (Note 7)	I_{PK}	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	2.2	–	A

Note 6: Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.

Note 7: These parameters, although guaranteed, are not 100% tested in production.

Electrical Characteristics (LM7809)

(Refer to the test circuits. $-40^{\circ}\text{C} < T_J < 125^{\circ}\text{C}$, $I_O = 500\text{mA}$, $V_I = 15\text{V}$, $C_I = 0.33\mu\text{F}$, $C_O = 0.1\mu\text{F}$, unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
Output Voltage	V_O	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	8.65	9.0	9.35	V
		$5\text{mA} \leq I_O \leq 1\text{A}$, $P_O \leq 15\text{W}$, $V_I = 11.5\text{V to } 24\text{V}$	8.6	9.0	9.4	
Line Regulation (Note 8)	Regline	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	—	6.0	180	mV
		$V_I = 11.5\text{V to } 25\text{V}$ $V_I = 12\text{V to } 17\text{V}$	—	2.0	90.0	
Load Regulation (Note 8)	Regload	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	—	12.0	180	mV
		$I_O = 5\text{mA to } 1.5\text{mA}$ $I_O = 250\text{mA to } 750\text{mA}$	—	4.0	90.0	
Quiescent Current	I_Q	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	—	5.0	8.0	mA
Quiescent Current Change	ΔI_Q	$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$	—	—	0.5	mA
		$V_I = 11.5\text{V to } 26\text{V}$	—	—	1.3	
Output Voltage Drift (Note 9)	$\Delta V_O / \Delta T$	$I_O = 5\text{mA}$	—	-1.0	—	mV/°C
Output Noise Voltage	V_N	$f = 10\text{Hz to } 100\text{kHz}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	—	58.0	—	$\mu\text{V}/V_O$
Ripple Rejection (Note 9)	RR	$f = 120\text{Hz}$, $V_O = 13\text{V to } 23\text{V}$	56.0	71.0	—	dB
Dropout Voltage	V_{DROP}	$I_O = 1\text{A}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	—	2.0	—	V
Output Resistance (Note 9)	r_O	$f = 1\text{kHz}$	—	17.0	—	m Ω
Short Circuit Current	I_{SC}	$V_I = 35\text{V}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	—	250	—	mA
Peak Current (Note 9)	I_{PK}	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	—	2.2	—	A

Note 8: Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.

Note 9: These parameters, although guaranteed, are not 100% tested in production.

Electrical Characteristics (LM7810)

(Refer to the test circuits. $-40^{\circ}\text{C} < T_J < 125^{\circ}\text{C}$, $I_O = 500\text{mA}$, $V_I = 16\text{V}$, $C_I = 0.33\mu\text{F}$, $C_O = 0.1\mu\text{F}$, unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
Output Voltage	V_O	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	9.6	10.0	10.4	V
		$5\text{mA} \leq I_O \leq 1\text{A}$, $P_O \leq 15\text{W}$, $V_I = 12.5\text{V to } 25\text{V}$	9.5	10.0	10.5	
Line Regulation (Note 10)	Regline	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	—	10.0	200	mV
		$V_I = 12.5\text{V to } 25\text{V}$ $V_I = 13\text{V to } 25\text{V}$	—	3.0	100	
Load Regulation (Note 10)	Regload	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	—	12.0	200	mV
		$I_O = 5\text{mA to } 1.5\text{mA}$ $I_O = 250\text{mA to } 750\text{mA}$	—	4.0	400	
Quiescent Current	I_Q	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	—	5.1	8.0	mA
Quiescent Current Change	ΔI_Q	$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$	—	—	0.5	mA
		$V_I = 12.5\text{V to } 29\text{V}$	—	—	1.0	
Output Voltage Drift (Note 11)	$\Delta V_O / \Delta T$	$I_O = 5\text{mA}$	—	-1.0	—	mV/°C
Output Noise Voltage	V_N	$f = 10\text{Hz to } 100\text{kHz}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	—	58.0	—	$\mu\text{V}/V_O$
Ripple Rejection (Note 11)	RR	$f = 120\text{Hz}$, $V_O = 13\text{V to } 23\text{V}$	56.0	71.0	—	dB
Dropout Voltage	V_{DROP}	$I_O = 1\text{A}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	—	2.0	—	V
Output Resistance (Note 11)	r_O	$f = 1\text{kHz}$	—	17.0	—	m Ω
Short Circuit Current	I_{SC}	$V_I = 35\text{V}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	—	250	—	mA
Peak Current (Note 11)	I_{PK}	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	—	2.2	—	A

Note 10: Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.

Note 11: These parameters, although guaranteed, are not 100% tested in production.

LM7805 • LM7806 • LM7808 • LM7809 • LM7810 • LM7812 • LM7815 • LM7818 • LM7824 • LM7805A • LM7806A • LM7808A
LM7809A • LM7810A • LM7812A • LM7815A • LM7818A • LM7824A

Electrical Characteristics (LM7812)

(Refer to the test circuits. $-40^{\circ}\text{C} < T_J < 125^{\circ}\text{C}$, $I_O = 500\text{mA}$, $V_I = 19\text{V}$, $C_I = 0.33\mu\text{F}$, $C_O = 0.1\mu\text{F}$, unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
Output Voltage	V_O	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	11.5	12.0	12.5	V
		$5\text{mA} \leq I_O \leq 1\text{A}$, $P_O \leq 15\text{W}$, $V_I = 14.5\text{V}$ to 27V	11.4	12.0	12.6	
Line Regulation (Note 12)	Regline	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$V_I = 14.5\text{V}$ to 30V	–	10.0	mV
			$V_I = 16\text{V}$ to 22V	–	3.0	
Load Regulation (Note 12)	Regload	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$I_O = 5\text{mA}$ to 1.5mA	–	11.0	mV
			$I_O = 250\text{mA}$ to 750mA	–	5.0	
Quiescent Current	I_Q	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	5.1	8.0	mA
Quiescent Current Change	ΔI_Q	$I_O = 5\text{mA}$ to 1A	–	0.1	0.5	mA
			$V_I = 14.5\text{V}$ to 30V	–	0.5	
Output Voltage Drift (Note 13)	$\Delta V_O / \Delta T$	$I_O = 5\text{mA}$	–	–1.0	–	mV/°C
Output Noise Voltage	V_N	$f = 10\text{Hz}$ to 100kHz , $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	–	76.0	–	$\mu\text{V}/V_O$
Ripple Rejection (Note 13)	RR	$f = 120\text{Hz}$, $V_I = 15\text{V}$ to 25V	55.0	71.0	–	dB
Dropout Voltage	V_{DROP}	$I_O = 1\text{A}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	2.0	–	V
Output Resistance (Note 13)	r_O	$f = 1\text{kHz}$	–	18.0	–	m Ω
Short Circuit Current	I_{SC}	$V_I = 35\text{V}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	–	230	–	mA
Peak Current (Note 13)	I_{PK}	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	2.2	–	A

Note 12: Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.

Note 13: These parameters, although guaranteed, are not 100% tested in production.

Electrical Characteristics (LM7815)

(Refer to the test circuits. $-40^{\circ}\text{C} < T_J < 125^{\circ}\text{C}$, $I_O = 500\text{mA}$, $V_I = 23\text{V}$, $C_I = 0.33\mu\text{F}$, $C_O = 0.1\mu\text{F}$, unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
Output Voltage	V_O	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	14.4	15.0	15.6	V
		$5\text{mA} \leq I_O \leq 1\text{A}$, $P_O \leq 15\text{W}$, $V_I = 17.5\text{V}$ to 30V	14.25	15.0	15.75	
Line Regulation (Note 14)	Regline	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$V_I = 17.5\text{V}$ to 30V	–	11.0	mV
			$V_I = 20\text{V}$ to 26V	–	3.0	
Load Regulation (Note 14)	Regload	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$I_O = 5\text{mA}$ to 1.5mA	–	12.0	mV
			$I_O = 250\text{mA}$ to 750mA	–	4.0	
Quiescent Current	I_Q	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	5.2	8.0	mA
Quiescent Current Change	ΔI_Q	$I_O = 5\text{mA}$ to 1A	–	–	0.5	mA
			$V_I = 17.5\text{V}$ to 30V	–	1.0	
Output Voltage Drift (Note 15)	$\Delta V_O / \Delta T$	$I_O = 5\text{mA}$	–	–1.0	–	mV/°C
Output Noise Voltage	V_N	$f = 10\text{Hz}$ to 100kHz , $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	–	90.0	–	$\mu\text{V}/V_O$
Ripple Rejection (Note 15)	RR	$f = 120\text{Hz}$, $V_I = 18.5\text{V}$ to 28.5V	54.0	70.0	–	dB
Dropout Voltage	V_{DROP}	$I_O = 1\text{A}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	2.0	–	V
Output Resistance (Note 15)	r_O	$f = 1\text{kHz}$	–	19.0	–	m Ω
Short Circuit Current	I_{SC}	$V_I = 35\text{V}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	–	250	–	mA
Peak Current (Note 15)	I_{PK}	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	2.2	–	A

Note 14: Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.

Note 15: These parameters, although guaranteed, are not 100% tested in production.

Electrical Characteristics (LM7818)

(Refer to the test circuits. $-40^{\circ}\text{C} < T_J < 125^{\circ}\text{C}$, $I_O = 500\text{mA}$, $V_I = 27\text{V}$, $C_I = 0.33\mu\text{F}$, $C_O = 0.1\mu\text{F}$, unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions		Min	Typ	Max	Unit
Output Voltage	V_O	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$		17.3	18.0	18.7	V
		$5\text{mA} \leq I_O \leq 1\text{A}$, $P_O \leq 15\text{W}$, $V_I = 21\text{V to } 33\text{V}$		17.1	18.0	18.9	
Line Regulation (Note 12)	Regline	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$V_I = 21\text{V to } 33\text{V}$	–	15.0	360	mV
			$V_I = 24\text{V to } 30\text{V}$	–	5.0	180	
Load Regulation (Note 12)	Regload	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$I_O = 5\text{mA to } 1.5\text{mA}$	–	15.0	360	mV
			$I_O = 250\text{mA to } 750\text{mA}$	–	5.0	180	
Quiescent Current	I_Q	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$		–	5.2	8.0	mA
Quiescent Current Change	ΔI_Q	$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$		–	–	0.5	mA
		$V_I = 21\text{V to } 33\text{V}$		–	–	1.0	
Output Voltage Drift (Note 17)	$\Delta V_O/\Delta T$	$I_O = 5\text{mA}$		–	–1.0	–	mV/°C
Output Noise Voltage	V_N	$f = 10\text{Hz to } 100\text{kHz}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$		–	110	–	$\mu\text{V}/V_O$
Ripple Rejection (Note 17)	RR	$f = 120\text{Hz}$, $V_I = 22\text{V to } 32\text{V}$		53.0	69.0	–	dB
Dropout Voltage	V_{DROP}	$I_O = 1\text{A}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$		–	2.0	–	V
Output Resistance (Note 17)	r_O	$f = 1\text{kHz}$		–	22.0	–	$\text{m}\Omega$
Short Circuit Current	I_{SC}	$V_I = 35\text{V}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$		–	250	–	mA
Peak Current (Note 17)	I_{PK}	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$		–	2.2	–	A

Note 16: Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.

Note 17: These parameters, although guaranteed, are not 100% tested in production.

Electrical Characteristics (LM7824)

(Refer to the test circuits. $-40^{\circ}\text{C} < T_J < 125^{\circ}\text{C}$, $I_O = 500\text{mA}$, $V_I = 33\text{V}$, $C_I = 0.33\mu\text{F}$, $C_O = 0.1\mu\text{F}$, unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions		Min	Typ	Max	Unit
Output Voltage	V _O	T _J = +25° C		23.0	24.0	25.0	V
		5mA ≤ I _O ≤ 1A, P _O ≤ 15W, V _I = 27V to 38V		22.8	24.0	25.25	
Line Regulation (Note 18)	Regline	T _J = +25° C	V _I = 27V to 38V	–	17.0	480	mV
			V _I = 30V to 36V	–	6.0	240	
Load Regulation (Note 18)	Regload	T _J = +25° C	I _O = 5mA to 1.5mA	–	15.0	480	mV
			I _O = 250mA to 750mA	–	5.0	240	
Quiescent Current	I _Q	T _J = +25° C		–	5.2	8.0	mA
Quiescent Current Change	ΔI _Q	I _O = 5mA to 1A		–	0.1	0.5	mA
		V _I = 27V to 38V		–	0.5	1.0	
Output Voltage Drift (Note 19)	ΔV _O /ΔT	I _O = 5mA		–	–1.5	–	mV/°C
Output Noise Voltage	V _N	f = 10Hz to 100KHz, T _A = +25° C		–	60.0	–	μV/V _O
Ripple Rejection (Note 19)	RR	f = 120Hz, V _I = 28V to 38V		50.0	67.0	–	dB
Dropout Voltage	V _{DROP}	I _O = 1A, T _J = +25° C		–	2.0	–	V
Output Resistance (Note 19)	r _O	f = 1KHz		–	28.0	–	mΩ
Short Circuit Current	I _{SC}	V _I = 35V, T _A = +25° C		–	230	–	mA
Peak Current (Note 19)	I _{PK}	T _J = +25° C		–	2.2	–	A

Note 18: Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.

Note 19: These parameters, although guaranteed, are not 100% tested in production.

LM7805 • LM7806 • LM7808 • LM7809 • LM7810 • LM7812 • LM7815 • LM7818 • LM7824 • LM7805A • LM7806A • LM7808A
LM7809A • LM7810A • LM7812A • LM7815A • LM7818A • LM7824A

LM7805 • LM7806 • LM7808 • LM7809 • LM7810 • LM7812 • LM7815 • LM7818 • LM7824 • LM7805A • LM7806A • LM7808A • LM7809A • LM7810A • LM7812A • LM7815A • LM7818A • LM7824A

Electrical Characteristics (LM7805A)

(Refer to the test circuits. $0^{\circ}\text{C} < T_J < 125^{\circ}\text{C}$, $I_O = 1\text{A}$, $V_I = 10\text{V}$, $C_I = 0.33\mu\text{F}$, $C_O = 0.1\mu\text{F}$, unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
Output Voltage	V_O	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	4.9	5.0	5.1	V
		$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$, $P_O \leq 15\text{W}$, $V_I = 7.5\text{V to } 20\text{V}$	4.8	5.0	5.2	
Line Regulation (Note 20)	Regline	$V_I = 7.5\text{V to } 25\text{V}$, $I_O = 500\text{mA}$	–	5.0	50.0	mV
		$V_I = 8\text{V to } 12\text{V}$	–	3.0	50.0	
		$T_J = +25^{\circ}\text{C}$, $V_I = 7.3\text{V to } 20\text{V}$	–	5.0	50.0	
		$V_I = 8\text{V to } 12\text{V}$	–	1.5	25.0	
Load Regulation (Note 20)	Regload	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$, $I_O = 5\text{mA to } 1.5\text{mA}$	–	9.0	100	mV
		$I_O = 5\text{mA to } 1\text{mA}$	–	9.0	100	
		$I_O = 250\text{mA to } 750\text{mA}$	–	4.0	50.0	
Quiescent Current	I_Q	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	5.0	6.0	mA
Quiescent Current Change	ΔI_Q	$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$	–	–	0.5	mA
		$V_I = 8\text{V to } 25\text{V}$, $I_O = 500\text{mA}$	–	–	0.8	
		$V_I = 7.5\text{V to } 20\text{V}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	–	0.8	
Output Voltage Drift (Note 21)	$\Delta V_O / \Delta T$	$I_O = 5\text{mA}$	–	–0.8	–	mV/°C
Output Noise Voltage	V_N	$f = 10\text{Hz to } 100\text{kHz}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	–	10.0	–	$\mu\text{V}/V_O$
Ripple Rejection (Note 21)	RR	$f = 120\text{Hz}$, $I_O = 500\text{mA}$, $V_I = 8\text{V to } 18\text{V}$	–	68.0	–	dB
Dropout Voltage	V_{DROP}	$I_O = 1\text{A}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	2.0	–	V
Output Resistance (Note 21)	r_O	$f = 1\text{kHz}$	–	17.0	–	m Ω
Short Circuit Current	I_{SC}	$V_I = 35\text{V}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	–	250	–	mA
Peak Current (Note 21)	I_{PK}	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	2.2	–	A

Note 20: Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.

Note 21: These parameters, although guaranteed, are not 100% tested in production.

Electrical Characteristics (LM7806A)

(Refer to the test circuits. $0^{\circ}\text{C} < T_J < 125^{\circ}\text{C}$, $I_O = 1\text{A}$, $V_I = 11\text{V}$, $C_I = 0.33\mu\text{F}$, $C_O = 0.1\mu\text{F}$, unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
Output Voltage	V_O	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	5.58	6.0	6.12	V
		$I_O = 5\text{mA}$ to 1A , $P_D \leq 15\text{W}$, $V_I = 8.6\text{V}$ to 21V	5.76	6.0	6.24	
Line Regulation (Note 22)	Regline	$V_I = 8.6\text{V}$ to 25V , $I_O = 500\text{mA}$	–	5.0	60.0	mV
		$V_I = 9\text{V}$ to 13V	–	3.0	60.0	
		$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	5.0	60.0	
		$V_I = 8.3\text{V}$ to 21V	–	1.5	30.0	
Load Regulation (Note 22)	Regload	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$, $I_O = 5\text{mA}$ to 1.5mA	–	9.0	100	mV
		$I_O = 5\text{mA}$ to 1mA	–	4.0	100	
		$I_O = 250\text{mA}$ to 750mA	–	5.0	50.0	
Quiescent Current	I_Q	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	4.3	6.0	mA
Quiescent Current Change	ΔI_Q	$I_O = 5\text{mA}$ to 1A	–	–	0.5	mA
		$V_I = 19\text{V}$ to 25V , $I_O = 500\text{mA}$	–	–	0.8	
		$V_I = 8.5\text{V}$ to 21V , $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	–	0.8	
Output Voltage Drift (Note 23)	$\Delta V_O / \Delta T$	$I_O = 5\text{mA}$	–	–0.8	–	mV/°C
Output Noise Voltage	V_N	$f = 10\text{Hz}$ to 100kHz , $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	–	10.0	–	$\mu\text{V}/V_O$
Ripple Rejection (Note 23)	RR	$f = 120\text{Hz}$, $I_O = 500\text{mA}$, $V_I = 9\text{V}$ to 19V	–	65.0	–	dB
Dropout Voltage	V_{DROP}	$I_O = 1\text{A}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	2.0	–	V
Output Resistance (Note 23)	r_O	$f = 1\text{kHz}$	–	17.0	–	m Ω
Short Circuit Current	I_{SC}	$V_I = 35\text{V}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	–	250	–	mA
Peak Current (Note 23)	I_{PK}	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	2.2	–	A

Note 22: Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.

Note 23: These parameters, although guaranteed, are not 100% tested in production.

LM7805 • LM7806 • LM7808 • LM7809 • LM7810 • LM7812 • LM7815 • LM7818 • LM7824 • LM7805A • LM7806A • LM7808A
LM7809A • LM7810A • LM7812A • LM7815A • LM7818A • LM7824A

Electrical Characteristics (LM7808A)

(Refer to the test circuits. $0^{\circ}\text{C} < T_J < 125^{\circ}\text{C}$, $I_O = 1\text{A}$, $V_I = 14\text{V}$, $C_I = 0.33\mu\text{F}$, $C_O = 0.1\mu\text{F}$, unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
Output Voltage	V_O	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	7.84	8.0	8.16	V
		$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$, $P_O \leq 15\text{W}$, $V_I = 10.6\text{V to } 23\text{V}$	7.7	8.0	8.3	
Line Regulation (Note 24)	Regline	$V_I = 10.6\text{V to } 25\text{V}$, $I_O = 500\text{mA}$	–	6.0	80.0	mV
		$V_I = 11\text{V to } 17\text{V}$	–	3.0	80.0	
		$T_J = +25^{\circ}\text{C}$, $V_I = 10.4\text{V to } 23\text{V}$	–	6.0	80.0	
		$V_I = 11\text{V to } 17\text{V}$	–	2.0	40.0	
Load Regulation (Note 24)	Regload	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$, $I_O = 5\text{mA to } 1.5\text{mA}$	–	12.0	100	mV
		$I_O = 5\text{mA to } 1\text{mA}$	–	12.0	100	
		$I_O = 250\text{mA to } 750\text{mA}$	–	5.0	50.0	
Quiescent Current	I_Q	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	5.0	6.0	mA
Quiescent Current Change	ΔI_Q	$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$	–	–	0.5	mA
		$V_I = 11\text{V to } 25\text{V}$, $I_O = 500\text{mA}$	–	–	0.8	
		$V_I = 10.6\text{V to } 23\text{V}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	–	0.8	
Output Voltage Drift (Note 25)	$\Delta V_O / \Delta T$	$I_O = 5\text{mA}$	–	–0.8	–	mV/°C
Output Noise Voltage	V_N	$f = 10\text{Hz to } 100\text{kHz}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	–	10.0	–	$\mu\text{V}/V_O$
Ripple Rejection (Note 25)	RR	$f = 120\text{Hz}$, $I_O = 500\text{mA}$, $V_I = 11.5\text{V to } 21.5\text{V}$	–	62.0	–	dB
Dropout Voltage	V_{DROP}	$I_O = 1\text{A}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	2.0	–	V
Output Resistance (Note 25)	r_O	$f = 1\text{kHz}$	–	18.0	–	m Ω
Short Circuit Current	I_{SC}	$V_I = 35\text{V}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	–	250	–	mA
Peak Current (Note 25)	I_{PK}	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	2.2	–	A

Note 24: Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.

Note 25: These parameters, although guaranteed, are not 100% tested in production.

Electrical Characteristics (LM7809A)

(Refer to the test circuits. $0^{\circ}\text{C} < T_J < 125^{\circ}\text{C}$, $I_O = 1\text{A}$, $V_I = 15\text{V}$, $C_I = 0.33\mu\text{F}$, $C_O = 0.1\mu\text{F}$, unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	Min	Typ	Max	Units
Output Voltage	V_O	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	8.82	9.0	9.18	V
		$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$, $P_O \leq 15\text{W}$, $V_I = 11.2\text{V to } 24\text{V}$	8.65	9.0	9.35	
Line Regulation (Note 26)	Regline	$V_I = 11.7\text{V to } 25\text{V}$, $I_O = 500\text{mA}$	–	6.0	90.0	mV
		$V_I = 12.5\text{V to } 19\text{V}$	–	4.0	45.0	
		$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	6.0	90.0	
		$V_I = 11.5\text{V to } 24\text{V}$ $V_I = 12.5\text{V to } 19\text{V}$	–	2.0	45.0	
Load Regulation (Note 26)	Regload	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$, $I_O = 5\text{mA to } 1.0\text{mA}$	–	12.0	100	mV
		$I_O = 5\text{mA to } 1\text{mA}$	–	12.0	100	
		$I_O = 250\text{mA to } 750\text{mA}$	–	5.0	50.0	
Quiescent Current	I_Q	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	5.0	6.0	mA
Quiescent Current Change	ΔI_Q	$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$	–	–	0.5	mA
		$V_I = 12\text{V to } 25\text{V}$, $I_O = 500\text{mA}$	–	–	0.8	
		$V_I = 11.7\text{V to } 25\text{V}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	–	0.8	
Output Voltage Drift (Note 27)	$\Delta V_O / \Delta T$	$I_O = 5\text{mA}$	–	–1.0	–	mV/°C
Output Noise Voltage	V_N	$f = 10\text{Hz to } 100\text{kHz}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	–	10.0	–	$\mu\text{V}/V_O$
Ripple Rejection (Note 27)	RR	$f = 120\text{Hz}$, $I_O = 500\text{mA}$, $V_I = 12\text{V to } 22\text{V}$	–	62.0	–	dB
Dropout Voltage	$V_{O\text{DROP}}$	$I_O = 1\text{A}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	2.0	–	V
Output Resistance (Note 27)	r_O	$f = 1\text{kHz}$	–	17.0	–	$\text{m}\Omega$
Short Circuit Current	I_{SC}	$V_I = 35\text{V}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	–	250	–	mA
Peak Current (Note 27)	I_{PK}	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	2.2	–	A

Note 26: Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.

Note 27: These parameters, although guaranteed, are not 100% tested in production.

LM7805 • LM7806 • LM7808 • LM7809 • LM7810 • LM7812 • LM7815 • LM7818 • LM7824 • LM7805A • LM7806A • LM7808A
• LM7809A • LM7810A • LM7812A • LM7815A • LM7818A • LM7824A

Active Version

LM7805 • LM7806 • LM7808 • LM7809 • LM7810 • LM7812 • LM7815 • LM7818 • LM7824 • LM7825A • LM7806A • LM7808A • LM7809A • LM7810A • LM7812A • LM7815A • LM7818A • LM7824A

Electrical Characteristics (LM7810A)

(Refer to the test circuits. $0^{\circ}\text{C} < T_J < 125^{\circ}\text{C}$, $I_O = 1\text{A}$, $V_I = 16\text{V}$, $C_I = 0.33\mu\text{F}$, $C_O = 0.1\mu\text{F}$, unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	Min	Typ	Max	Units
Output Voltage	V_O	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	9.8	10.0	10.2	V
		$I_O = 5\text{mA}$ to 1A , $P_O \leq 15\text{W}$, $V_I = 12.8\text{V}$ to 25V	9.6	10.0	10.4	
Line Regulation (Note 28)	Regline	$V_I = 12.8\text{V}$ to 25V , $I_O = 500\text{mA}$	–	8.0	100	mV
		$V_I = 13\text{V}$ to 20V	–	4.0	50.0	
		$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	8.0	100	
		$V_I = 13\text{V}$ to 20V	–	3.0	50.0	
Load Regulation (Note 28)	Regload	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$, $I_O = 5\text{mA}$ to 1.5mA	–	12.0	100	mV
		$I_O = 5\text{mA}$ to 1mA	–	12.0	100	
		$I_O = 250\text{mA}$ to 750mA	–	5.0	50.0	
Quiescent Current	I_Q	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	5.0	6.0	mA
Quiescent Current Change	ΔI_Q	$I_O = 5\text{mA}$ to 1A	–	–	0.5	mA
		$V_I = 12.8\text{V}$ to 25V , $I_O = 500\text{mA}$	–	–	0.8	
		$V_I = 13\text{V}$ to 25V , $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	–	0.5	
Output Voltage Drift (Note 29)	$\Delta V_O / \Delta T$	$I_O = 5\text{mA}$	–	–1.0	–	mV/°C
Output Noise Voltage	V_N	$f = 10\text{Hz}$ to 100kHz , $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	–	10.0	–	$\mu\text{V}/V_O$
Ripple Rejection (Note 29)	RR	$f = 120\text{Hz}$, $I_O = 500\text{mA}$, $V_I = 14\text{V}$ to 24V	–	62.0	–	dB
Dropout Voltage	V_{DROP}	$I_O = 1\text{A}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	2.0	–	V
Output Resistance (Note 29)	r_O	$f = 1\text{kHz}$	–	17.0	–	$\text{m}\Omega$
Short Circuit Current	I_{SC}	$V_I = 35\text{V}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	–	250	–	mA
Peak Current (Note 29)	I_{PK}	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	2.2	–	A

Note 28: Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.

Note 29: These parameters, although guaranteed, are not 100% tested in production.

Electrical Characteristics (LM7812A)

(Refer to the test circuits. $0^{\circ}\text{C} < T_J < 125^{\circ}\text{C}$, $I_O = 1\text{A}$, $V_I = 19\text{V}$, $C_I = 0.33\mu\text{F}$, $C_O = 0.1\mu\text{F}$, unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	Min	Typ	Max	Units
Output Voltage	V_O	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	11.75	12.0	12.25	V
		$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$, $P_O \leq 15\text{W}$, $V_I = 14.8\text{V to } 27\text{V}$	11.5	12.0	12.5	
Line Regulation (Note 30)	Regline	$V_I = 14.8\text{V to } 30\text{V}$, $I_O = 500\text{mA}$	–	10.0	120	mV
		$V_I = 16\text{V to } 22\text{V}$	–	4.0	120	
		$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	10.0	120	
		$V_I = 14.5\text{V to } 27\text{V}$	–	3.0	60.0	
Load Regulation (Note 30)	Regload	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$, $I_O = 5\text{mA to } 1.5\text{mA}$	–	12.0	100	mV
		$I_O = 5\text{mA to } 1\text{mA}$	–	12.0	100	
		$I_O = 250\text{mA to } 750\text{mA}$	–	5.0	50.0	
Quiescent Current	I_Q	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	5.1	6.0	mA
Quiescent Current Change	ΔI_Q	$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$	–	–	0.5	mA
		$V_I = 14\text{V to } 27\text{V}$, $I_O = 500\text{mA}$	–	–	0.8	
		$V_I = 15\text{V to } 30\text{V}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	–	0.8	
Output Voltage Drift (Note 31)	$\Delta V_O / \Delta T$	$I_O = 5\text{mA}$	–	–1.0	–	mV/°C
Output Noise Voltage	V_N	$f = 10\text{Hz to } 100\text{kHz}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	–	10.0	–	$\mu\text{V}/V_O$
Ripple Rejection (Note 31)	RR	$f = 120\text{Hz}$, $I_O = 500\text{mA}$, $V_I = 14\text{V to } 24\text{V}$	–	60.0	–	dB
Dropout Voltage	V_{DROP}	$I_O = 1\text{A}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	2.0	–	V
Output Resistance (Note 31)	r_O	$f = 1\text{kHz}$	–	18.0	–	m Ω
Short Circuit Current	I_{SC}	$V_I = 35\text{V}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	–	250	–	mA
Peak Current (Note 31)	I_{PK}	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	2.2	–	A

Note 30: Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.

Note 31: These parameters, although guaranteed, are not 100% tested in production.

LM7805 • LM7806 • LM7808 • LM7809 • LM7810 • LM7812 • LM77815 • LM7818 • LM7824 • LM7805A • LM7806A • LM7808A
• LM7809A • LM7810A • LM7812A • LM7815A • LM7818A • LM7822A

LM7805 • LM7806 • LM7808 • LM7809 • LM7810 • LM7812 • LM7815 • LM7818 • LM7824 • LM7805A • LM7806A • LM7808A • LM7824A • LM7809A • LM7810A • LM7812A • LM7815A • LM7818A • LM7824A

Electrical Characteristics (LM7815A)

(Refer to the test circuits. $0^{\circ}\text{C} < T_J < 125^{\circ}\text{C}$, $I_O = 1\text{A}$, $V_I = 23\text{V}$, $C_I = 0.33\mu\text{F}$, $C_O = 0.1\mu\text{F}$, unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	Min	Typ	Max	Units
Output Voltage	V_O	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	14.75	15.0	15.3	V
		$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$, $P_O \leq 15\text{W}$, $V_I = 17.7\text{V to } 30\text{V}$	14.4	15.0	15.6	
Line Regulation (Note 32)	Regline	$V_I = 17.4\text{V to } 30\text{V}$, $I_O = 500\text{mA}$	–	10.0	150	mV
		$V_I = 20\text{V to } 26\text{V}$	–	5.0	150	
		$T_J = +25^{\circ}\text{C}$, $V_I = 17.5\text{V to } 30\text{V}$	–	11.0	150	
		$V_I = 20\text{V to } 26\text{V}$	–	3.0	75.0	
Load Regulation (Note 32)	Regload	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$, $I_O = 5\text{mA to } 1.5\text{mA}$	–	12.0	100	mV
		$I_O = 5\text{mA to } 1\text{mA}$	–	12.0	100	
		$I_O = 250\text{mA to } 750\text{mA}$	–	5.0	50.0	
Quiescent Current	I_Q	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	5.2	6.0	mA
Quiescent Current Change	ΔI_Q	$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$	–	–	0.5	mA
		$V_I = 17.5\text{V to } 30\text{V}$, $I_O = 500\text{mA}$	–	–	0.8	
		$V_I = 17.5\text{V to } 30\text{V}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	–	0.8	
Output Voltage Drift (Note 33)	$\Delta V_O / \Delta T$	$I_O = 5\text{mA}$	–	–1.0	–	mV/°C
Output Noise Voltage	V_N	$f = 10\text{Hz to } 100\text{kHz}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	–	10.0	–	$\mu\text{V}/V_O$
Ripple Rejection (Note 33)	RR	$f = 120\text{Hz}$, $I_O = 500\text{mA}$, $V_I = 18.5\text{V to } 28.5\text{V}$	–	58.0	–	dB
Dropout Voltage	V_{DROP}	$I_O = 1\text{A}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	2.0	–	V
Output Resistance (Note 33)	r_O	$f = 1\text{kHz}$	–	19.0	–	m Ω
Short Circuit Current	I_{SC}	$V_I = 35\text{V}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	–	250	–	mA
Peak Current (Note 33)	I_{PK}	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	2.2	–	A

Note 32: Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.

Note 33: These parameters, although guaranteed, are not 100% tested in production.

Electrical Characteristics (LM7818A)

(Refer to the test circuits. $0^{\circ}\text{C} < T_J < 125^{\circ}\text{C}$, $I_O = 1\text{A}$, $V_I = 27\text{V}$, $C_I = 0.33\mu\text{F}$, $C_O = 0.1\mu\text{F}$, unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	Min	Typ	Max	Units
Output Voltage	V_O	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	17.64	18.0	18.36	V
		$I_O = 5\text{mA}$ to 1A , $P_O \leq 15\text{W}$, $V_I = 21\text{V}$ to 33V	17.3	18.0	18.7	
Line Regulation (Note 34)	Regline	$V_I = 21\text{V}$ to 33V , $I_O = 500\text{mA}$	–	15.0	180	mV
		$V_I = 21\text{V}$ to 33V	–	5.0	180	
		$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	15.0	180	
		$V_I = 24\text{V}$ to 30V	–	5.0	90.0	
Load Regulation (Note 34)	Regload	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$, $I_O = 5\text{mA}$ to 1.5mA	–	15.0	100	mV
		$I_O = 5\text{mA}$ to 1mA	–	15.0	100	
		$I_O = 250\text{mA}$ to 750mA	–	7.0	50.0	
Quiescent Current	I_Q	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	5.2	6.0	mA
Quiescent Current Change	ΔI_Q	$I_O = 5\text{mA}$ to 1A	–	–	0.5	mA
		$V_I = 12\text{V}$ to 33V , $I_O = 500\text{mA}$	–	–	0.8	
		$V_I = 12\text{V}$ to 33V , $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	–	0.8	
Output Voltage Drift (Note 35)	$\Delta V_O / \Delta T$	$I_O = 5\text{mA}$	–	–1.0	–	mV/°C
Output Noise Voltage	V_N	$f = 10\text{Hz}$ to 100kHz , $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	–	10.0	–	$\mu\text{V}/V_O$
Ripple Rejection (Note 35)	RR	$f = 120\text{Hz}$, $I_O = 500\text{mA}$, $V_I = 22\text{V}$ to 32V	–	57.0	–	dB
Dropout Voltage	V_{DROF}	$I_O = 1\text{A}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	2.0	–	V
Output Resistance (Note 35)	r_O	$f = 1\text{kHz}$	–	19.0	–	$\text{m}\Omega$
Short Circuit Current	I_{SC}	$V_I = 35\text{V}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	–	250	–	mA
Peak Current (Note 35)	I_{PK}	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	2.2	–	A

Note 34: Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.

Note 35: These parameters, although guaranteed, are not 100% tested in production.

LM7805 • LM7806 • LM7808 • LM7809 • LM7810 • LM7812 • LM7815 • LM7818 • LM7824 • LM7805A • LM7806A • LM7808A
• LM7809A • LM7810A • LM7812A • LM7815A • LM7818A • LM7824A

LM7805 • LM7806 • LM7808 • LM7809 • LM7810 • LM7812 • LM7815 • LM7818 • LM7824 • LM7805A • LM7806A • LM7808A • LM7809A • LM7810A • LM7812A • LM7815A • LM7818A • LM7824A

Electrical Characteristics (LM7824A)

(Refer to the test circuits. $0^{\circ}\text{C} < T_J < 125^{\circ}\text{C}$, $I_O = 1\text{A}$, $V_I = 33\text{V}$, $C_I = 0.33\mu\text{F}$, $C_O = 0.1\mu\text{F}$, unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	Min	Typ	Max	Units
Output Voltage	V_O	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	23.5	24.0	24.5	V
		$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$, $P_D \leq 15\text{W}$, $V_I = 27.3\text{V to } 38\text{V}$	23.0	24.0	25.0	
Line Regulation (Note 36)	Regline	$V_I = 27\text{V to } 38\text{V}$, $I_O = 500\text{mA}$	–	18.0	240	mV
		$V_I = 21\text{V to } 33\text{V}$	–	6.0	240	
		$T_J = +25^{\circ}\text{C}$, $V_I = 28.7\text{V to } 38\text{V}$	–	18.0	240	
		$V_I = 30\text{V to } 38\text{V}$	–	6.0	120	
Load Regulation (Note 36)	Regload	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$, $I_O = 5\text{mA to } 1.5\text{mA}$	–	15.0	100	mV
		$I_O = 5\text{mA to } 1\text{mA}$	–	15.0	100	
		$I_O = 250\text{mA to } 750\text{mA}$	–	7.0	50.0	
Quiescent Current	I_Q	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	5.2	6.0	mA
Quiescent Current Change	ΔI_Q	$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$	–	–	0.5	mA
		$V_I = 27.3\text{V to } 38\text{V}$, $I_O = 500\text{mA}$	–	–	0.8	
		$V_I = 27.3\text{V to } 38\text{V}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	–	0.8	
Output Voltage Drift (Note 37)	$\Delta V_O / \Delta T$	$I_O = 5\text{mA}$	–	–1.5	–	mV/°C
Output Noise Voltage	V_N	$f = 10\text{Hz to } 100\text{kHz}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	–	10.0	–	$\mu\text{V}/V_O$
Ripple Rejection (Note 37)	RR	$f = 120\text{Hz}$, $I_O = 500\text{mA}$, $V_I = 28\text{V to } 38\text{V}$	–	54.0	–	dB
Dropout Voltage	V_{DROP}	$I_O = 1\text{A}$, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	2.0	–	V
Output Resistance (Note 37)	r_O	$f = 1\text{kHz}$	–	20.0	–	$\text{m}\Omega$
Short Circuit Current	I_{SC}	$V_I = 35\text{V}$, $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	–	250	–	mA
Peak Current (Note 37)	I_{PK}	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	–	2.2	–	A

Note 36: Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.

Note 37: These parameters, although guaranteed, are not 100% tested in production.

Typical Performance Characteristics

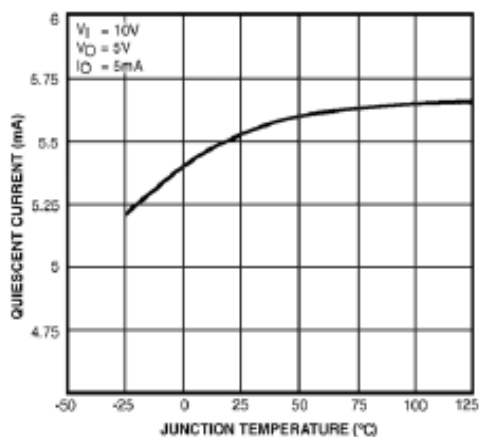


FIGURE 1. Quiescent Current

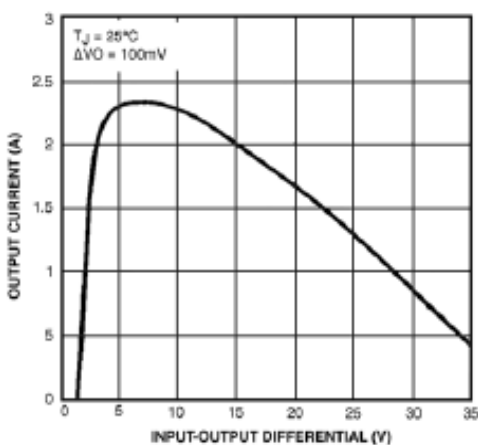


FIGURE 2. Peak Output Current

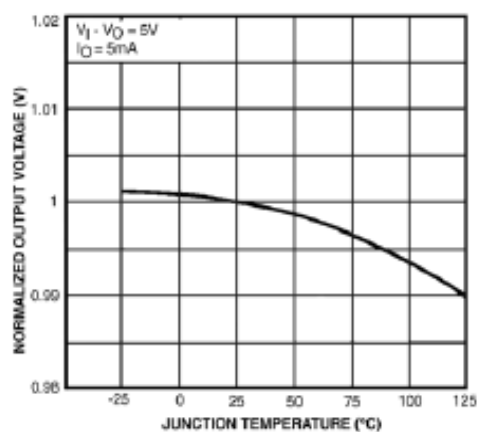


FIGURE 3. Output Voltage

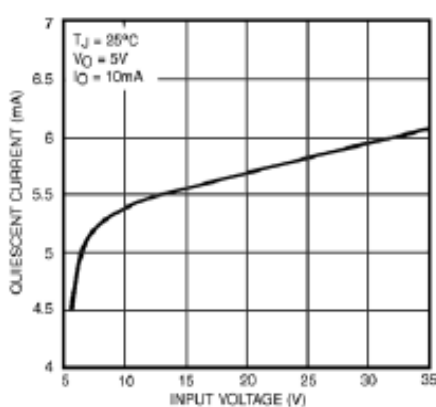


FIGURE 4. Quiescent Current

LM7805 • LM7806 • LM7808 • LM7809 • LM7810 • LM7812 • LM7815 • LM7818 • LM7824 • LM7805A • LM7806A • LM7808A
• LM7809A • LM7810A • LM7812A • LM7815A • LM7818A • LM7824A

LM7805 • LM7806 • LM7808 • LM7809 • LM7810 • LM7812 • LM7815 • LM7818 • LM7824 • LM7824A • LM7815A • LM7818A • LM7824A • LM7809A • LM7810A • LM7812A • LM7815A • LM7818A • LM7824A

Typical Applications

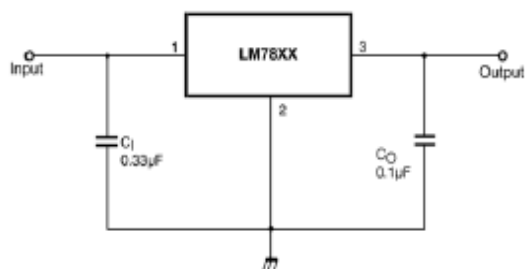


FIGURE 5. DC Parameters

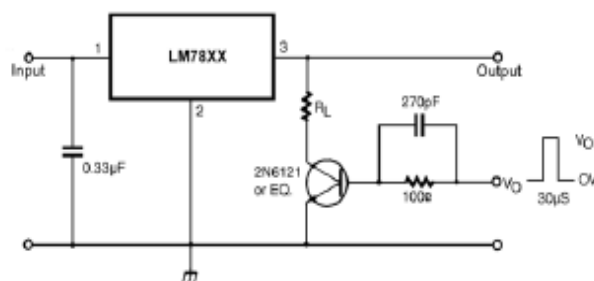


FIGURE 6. Load Regulation

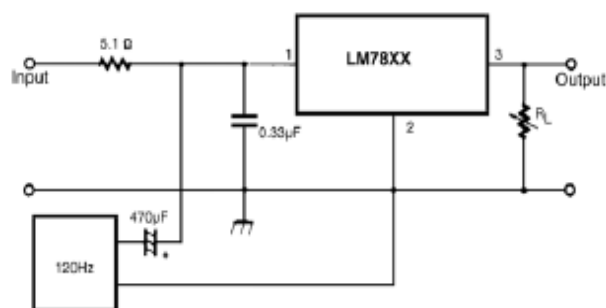


FIGURE 7. Ripple Rejection

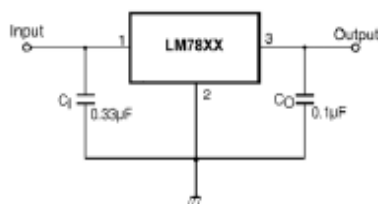
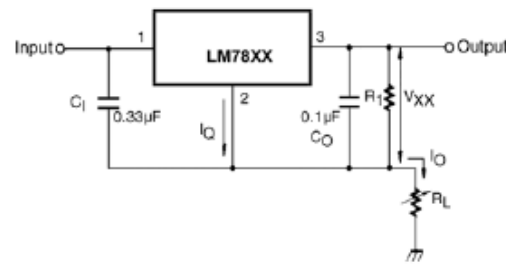


FIGURE 8. Fixed Output Regulator

Typical Applications (continued)



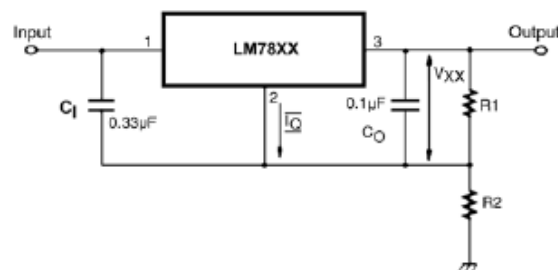
$$I_O = \frac{V_{XX}}{R_1} + I_Q$$

FIGURE 9.

Note: To specify an output voltage, substitute voltage value for "XX". A common ground is required between the Input and the Output voltage. The input voltage must remain typically 2.0V above the output voltage even during the low point on the input ripple voltage.

Note: C₁ is required if regulator is located an appreciable distance from the power supply filter.

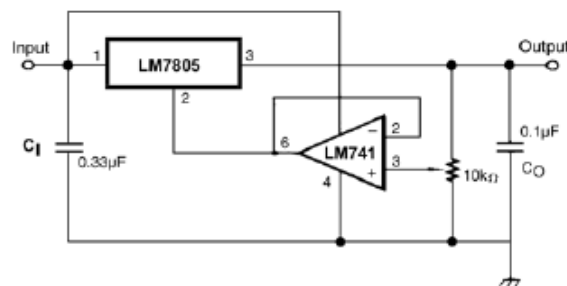
Note: C₀ improves stability and transient response.



$$I_{R1} \geq 5 I_Q$$

$$V_O = V_{XX} (1 R_2 / R_1) + I_Q R_2$$

FIGURE 10. Circuit for Increasing Output Voltage



$$I_{R1} \geq 5 I_Q$$

$$V_O = V_{XX} (1 R_2 / R_1) + I_Q R_2$$

FIGURE 11. Adjustable Output Regulator (7V to 30V)

LM7805 • LM7806 • LM7808 • LM7809 • LM7810 • LM7812 • LM7815 • LM7818 • LM7824 • LM7805A • LM7806A • LM7808A
LM7809A • LM7810A • LM7812A • LM7815A • LM7818A • LM7824A

Q1 = TIP42
Q2 = TIP42

$$R_{SC} = \frac{V_{BEQ2}}{I_{SC}}$$

The circuit diagram shows a Class AB output stage. An LM78XX voltage regulator is configured with its input (pin 1) connected to V_I through a $0.33\mu\text{F}$ capacitor, its ground (pin 2) connected to ground, and its output (pin 3) connected to V_O through a $0.1\mu\text{F}$ capacitor. The output of the regulator is also connected to the non-inverting input (pin 2) of an LM741 op-amp. The op-amp's inverting input (pin 7) is connected to ground, and its output (pin 6) is connected to the base of a TIP42 NPN transistor. The emitter of the transistor is connected to $-V_{IN}$, and its collector is connected to $-V_O$. The op-amp's other pins (4, 3, and 5) are also connected to ground. Two $4.7\text{k}\Omega$ resistors are connected between the op-amp's output (pin 6) and ground, and between the transistor's collector and ground.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

Typical Applications (continued)

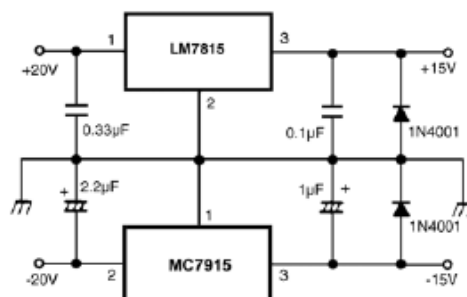


FIGURE 15. Split Power Supply ($\pm 15V - 1A$)

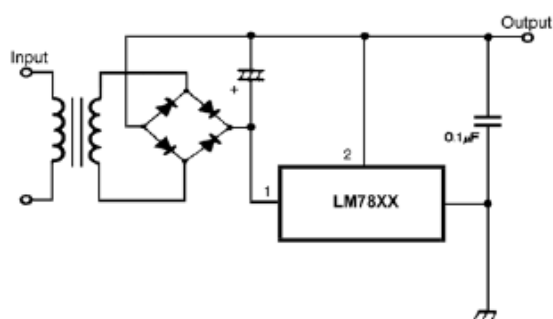


FIGURE 16. Negative Output Voltage Circuit

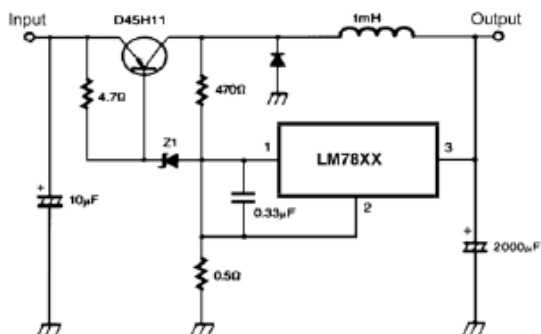


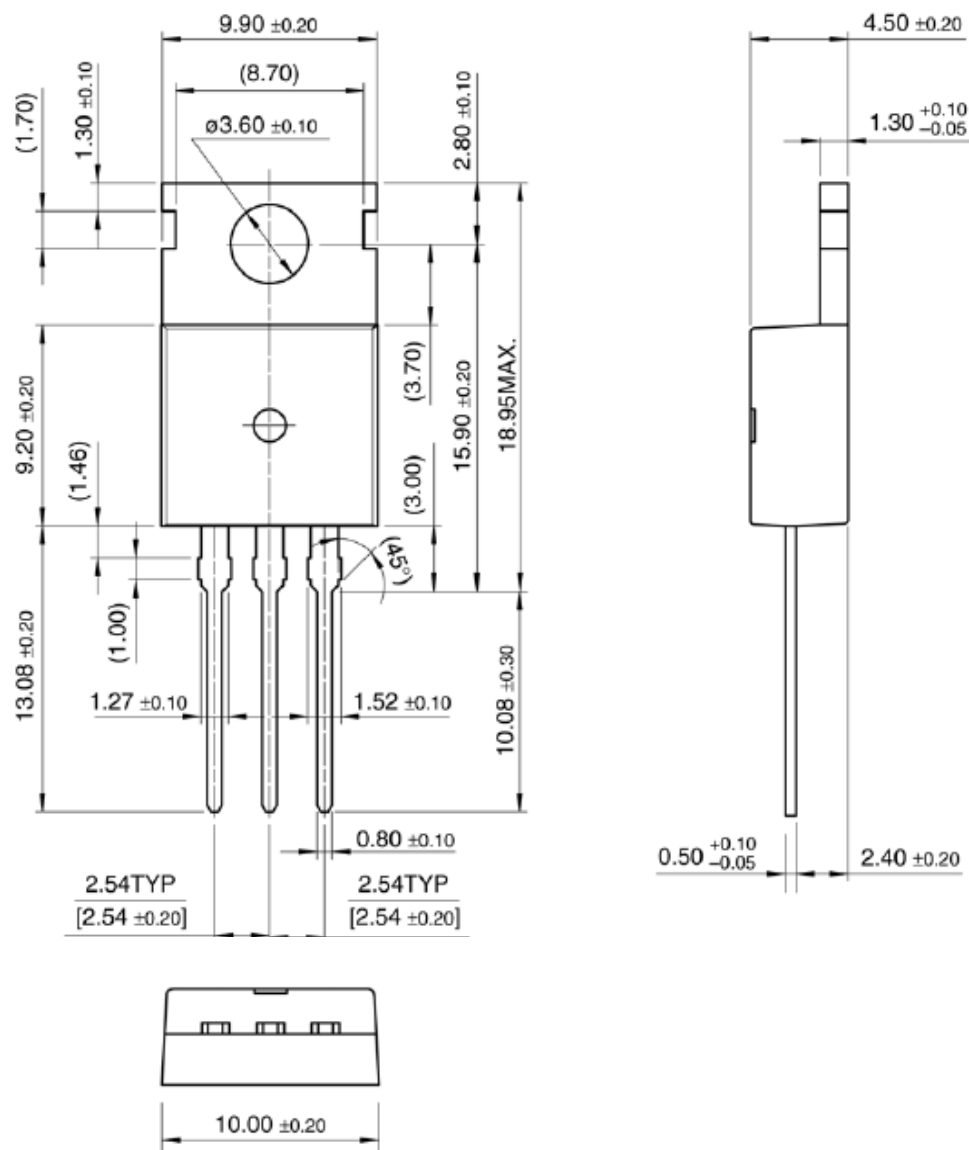
FIGURE 17. Switching Regulator

LM7805 • LM7806 • LM7808 • LM7809 • LM7810 • LM7812 • LM7815 • LM7818 • LM7824 • LM7805A • LM7806A • LM7808A • LM7809A • LM7810A • LM7812A • LM7815A • LM7818A • LM7824A

LM7805 • LM7806 • LM7808 • LM7809 • LM7810 • LM7812 • LM7815 • LM7818 • LM7824 • LM7825A • LM7826A • LM7808A
• LM7809A • LM7810A • LM7812A • LM7815A • LM7818A • LM7824A

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted

TO-220



Package Number TO-220

LM7805 • LM7806 • LM7808 • LM7809 • LM7810 • LM7812 • LM7815 • LM7818 • LM7824 • LM7805A • LM7806A • LM7808A
LM7809A • LM7810A • LM7812A • LM7815A • LM7818A • LM7824A 3-Terminal 1A Positive Voltage Regulator (Preliminary)

DISCLAIMER

FAIRCHILD SEMICONDUCTOR RESERVES THE RIGHT TO MAKE CHANGES WITHOUT FURTHER NOTICE TO ANY PRODUCTS HEREIN TO IMPROVE RELIABILITY, FUNCTION OR DESIGN. FAIRCHILD DOES NOT ASSUME ANY LIABILITY ARISING OUT OF THE APPLICATION OR USE OF ANY PRODUCT OR CIRCUIT DESCRIBED HEREIN; NEITHER DOES IT CONVEY ANY LICENSE UNDER ITS PATENT RIGHTS, NOR THE RIGHTS OF OTHERS.

LIFE SUPPORT POLICY

FAIRCHILD'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF FAIRCHILD SEMICONDUCTOR CORPORATION

As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, or (c) whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use

provided in the labeling, can be reasonably expected to result in significant injury to the user.

2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

PRODUCT STATUS DEFINITIONS

Definition of terms

Datasheet Identification	Product Status	Definition
Advance Information	Formative or In Design	This datasheet contains the design specifications for product development. Specifications may change in any manner without notice.
Preliminary	First Production	This datasheet contains preliminary data, and supplementary data will be published at a later date. Fairchild Semiconductor reserves the right to make changes at any time without notice in order to improve design.
No Identification Needed	Full Production	This datasheet contains final specifications. Fairchild Semiconductor reserves the right to make changes at any time without notice in order to improve design.
Obsolete	Not In Production	This datasheet contains specifications on a product that has been discontinued by Fairchild Semiconductor. The datasheet is printed for reference information only.

TRANSISTOR TIP 147





Is Now Part of



ON Semiconductor®

To learn more about ON Semiconductor, please visit our website at
www.onsemi.com

ON Semiconductor and the ON Semiconductor logo are trademarks of Semiconductor Components Industries, LLC dba ON Semiconductor or its subsidiaries in the United States and/or other countries. ON Semiconductor owns the rights to a number of patents, trademarks, copyrights, trade secrets, and other intellectual property. A listing of ON Semiconductor's product/patent coverage may be accessed at www.onsemi.com/site/pdf/Patent-Marketing.pdf. ON Semiconductor reserves the right to make changes without further notice to any products herein. ON Semiconductor makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of its products for any particular purpose, nor does ON Semiconductor assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation special, consequential or incidental damages. Buyer is responsible for its products and applications using ON Semiconductor products, including compliance with all laws, regulations and safety requirements or standards, regardless of any support or applications information provided by ON Semiconductor. "Typical" parameters which may be provided in ON Semiconductor data sheets and/or specifications can and do vary in different applications and actual performance may vary over time. All operating parameters, including "Typicals" must be validated for each customer application by customer's technical experts. ON Semiconductor does not convey any license under its patent rights nor the rights of others. ON Semiconductor products are not designed, intended, or authorized for use as a critical component in life support systems or any FDA Class 3 medical devices or medical devices with a same or similar classification in a foreign jurisdiction or any devices intended for implantation in the human body. Should Buyer purchase or use ON Semiconductor products for any such unintended or unauthorized application, Buyer shall indemnify and hold ON Semiconductor and its officers, employees, subsidiaries, affiliates, and distributors harmless against all claims, costs, damages, and expenses, and reasonable attorney fees arising out of, directly or indirectly, any claim of personal injury or death associated with such unintended or unauthorized use, even if such claim alleges that ON Semiconductor was negligent regarding the design or manufacture of the part. ON Semiconductor is an Equal Opportunity/Affirmative Action Employer. This literature is subject to all applicable copyright laws and is not for resale in any manner.

TIP147T

PNP Epitaxial Silicon Darlington Transistor

Features

- Monolithic Construction with Built-in Base-Emitter Shunt Resistors
- High DC Current Gain: $h_{FE} = 1000$ at $V_{CE} = -4$ V, $I_C = -5$ A (Minimum)
- Industrial Use
- Complement to TIP142T

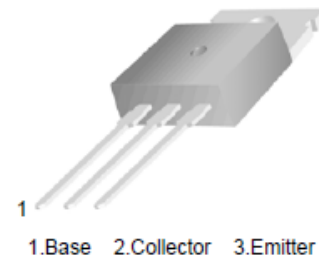
ORDERING INFORMATION

Part Number	Top Mark	Package	Packing Method
TIP147T	TIP147	TO-220 3L (Single Gauge)	Bulk
TIP147TTU	TIP147	TO-220 3L (Single Gauge)	Rail



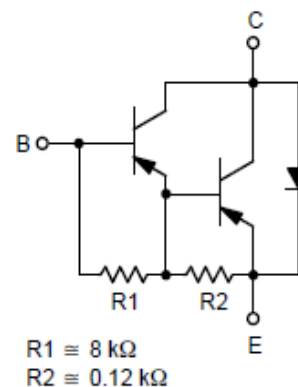
ON Semiconductor®

www.onsemi.com



TO-220
MOLDED
CASE 340AT

EQUIVALENT CIRCUIT



TIP147T

Table 1. ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value	Unit
V_{CBO}	Collector-Base Voltage	-100	V
V_{CEO}	Collector-Emitter Voltage	-100	V
V_{EBO}	Emitter-Base Voltage	-5	V
I_C	Collector Current (DC)	-10	A
I_{CP}	Collector Current (Pulse)	-15	A
I_B	Base Current (DC)	-0.5	A
P_C	Collector Dissipation ($T_C = 25^\circ\text{C}$)	80	W
T_J	Junction Temperature	150	$^\circ\text{C}$
T_{STG}	Storage Temperature Range	-65 to 150	$^\circ\text{C}$

Stresses exceeding those listed in the Maximum Ratings table may damage the device. If any of these limits are exceeded, device functionality should not be assumed, damage may occur and reliability may be affected.

Table 2. ELECTRICAL CHARACTERISTICS Values are at $T_C = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted.

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
$V_{CEO(sus)}$	Collector-Emitter Sustaining Voltage	$I_C = -30\text{ mA}$, $I_B = 0$	-100			V
I_{CEO}	Collector Cut-Off Current	$V_{CE} = -50\text{ V}$, $I_B = 0$			-2	mA
I_{CBO}	Collector Cut-Off Current	$V_{CB} = -100\text{ V}$, $I_E = 0$			-1	mA
I_{EBO}	Emitter Cut-Off Current	$V_{EB} = -5\text{ V}$, $I_C = 0$			-2	mA
h_{FE}	DC Current Gain	$V_{CE} = -4\text{ V}$, $I_C = -5\text{ A}$	1000			
		$V_{CE} = -4\text{ V}$, $I_C = -10\text{ A}$	500			
$V_{CE(sat)}$	Collector-Emitter Saturation Voltage	$I_C = -5\text{ A}$, $I_B = -10\text{ mA}$			-2	V
		$I_C = -10\text{ A}$, $I_B = -40\text{ mA}$			-3	
$V_{BE(sat)}$	Base-Emitter Saturation Voltage	$I_C = -10\text{ A}$, $I_B = -40\text{ mA}$			-3.5	V
$V_{BE(on)}$	Base-Emitter On Voltage	$V_{CE} = -4\text{ V}$, $I_C = -10\text{ A}$			-3	V
t_D	Delay Time	$V_{CC} = -30\text{ V}$, $I_C = -5\text{ A}$, $I_{B1} = -20\text{ mA}$, $I_{B2} = 20\text{ mA}$, $R_L = 6\ \Omega$		0.15		μs
t_R	Rise Time			0.55		μs
t_{STG}	Storage Time			2.50		μs
t_F	Fall Time			2.50		μs

Product parametric performance is indicated in the Electrical Characteristics for the listed test conditions, unless otherwise noted. Product performance may not be indicated by the Electrical Characteristics if operated under different conditions.

TIP147T

Typical Performance Characteristics

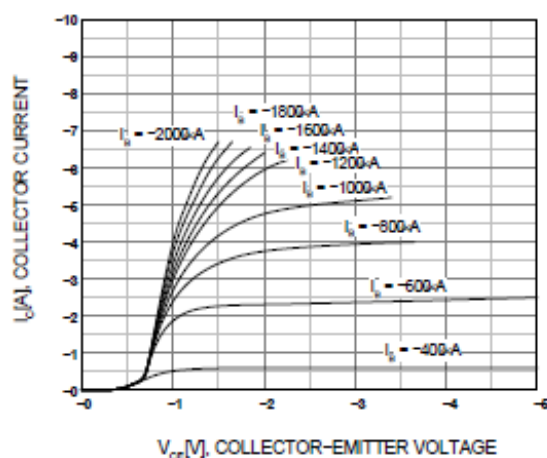


Figure 1. Static Characteristic

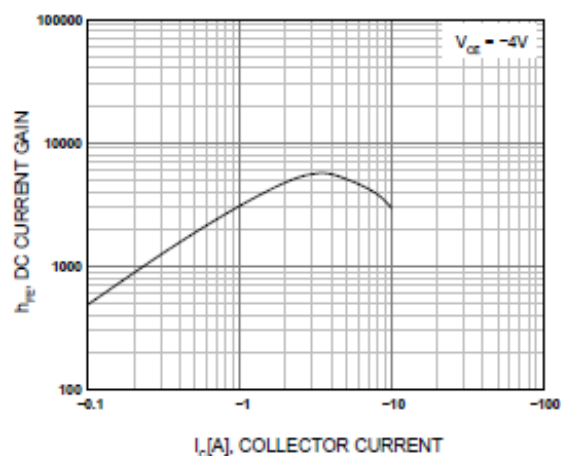


Figure 2. DC Current Gain

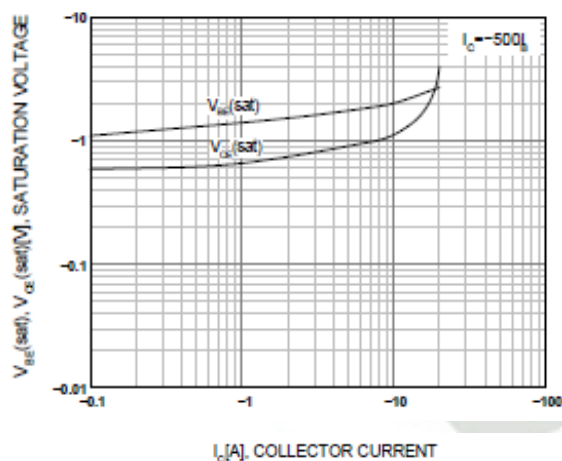


Figure 3. Collector-Emitter Voltage and Base-Emitter Saturation Voltage

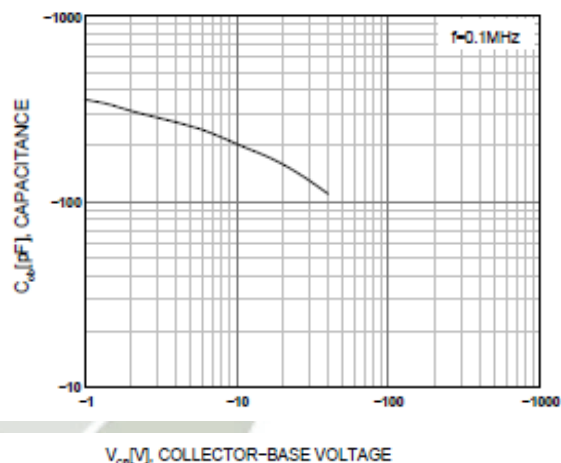


Figure 4. Collector Output Capacitance

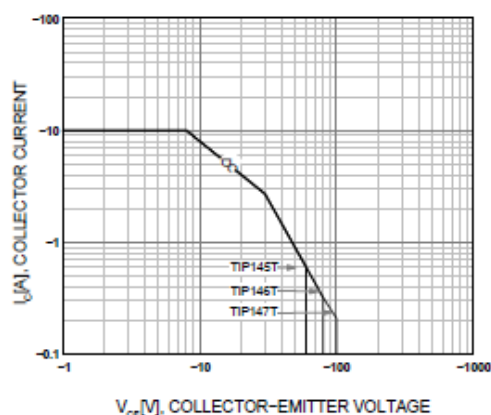


Figure 5. Safe Operating Area

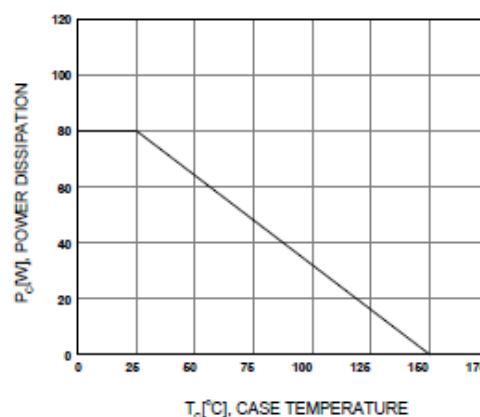
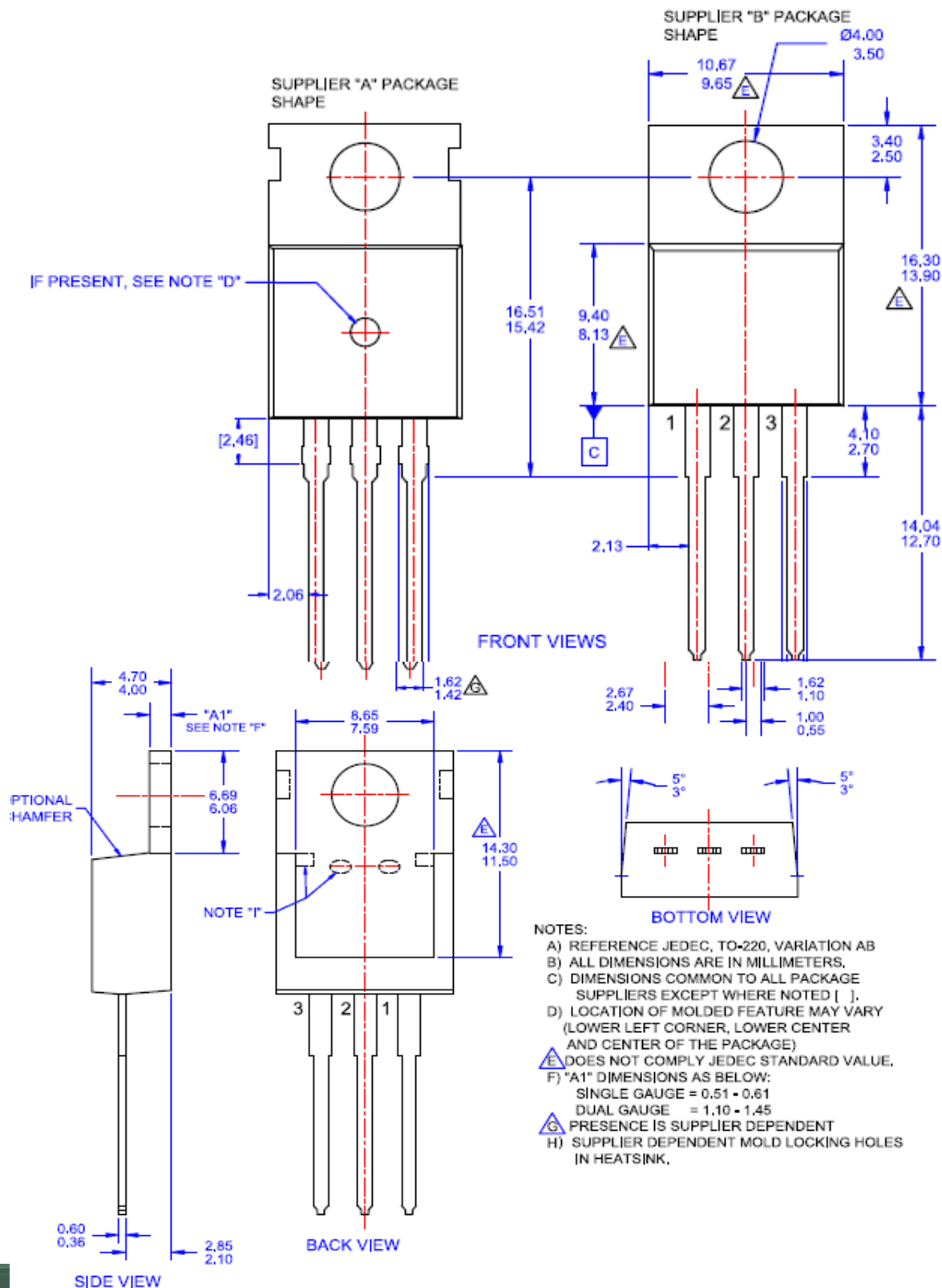


Figure 6. Power Derating

PACKAGE DIMENSIONS

TO-220-3LD
CASE 340AT
ISSUE O



TIP147T



ON Semiconductor and  are trademarks of Semiconductor Components Industries, LLC dba ON Semiconductor or its subsidiaries in the United States and/or other countries. ON Semiconductor owns the rights to a number of patents, trademarks, copyrights, trade secrets, and other intellectual property. A listing of ON Semiconductor's product/patent coverage may be accessed at www.onsemi.com/site/pdf/Patent-Marketing.pdf. ON Semiconductor reserves the right to make changes without further notice to any products herein. ON Semiconductor makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of its products for any particular purpose, nor does ON Semiconductor assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation special, consequential or incidental damages. Buyer is responsible for its products and applications using ON Semiconductor products, including compliance with all laws, regulations and safety requirements or standards, regardless of any support or applications information provided by ON Semiconductor. "Typical" parameters which may be provided in ON Semiconductor data sheets and/or specifications can and do vary in different applications and actual performance may vary over time. All operating parameters, including "Typicals" must be validated for each customer application by customer's technical experts. ON Semiconductor does not convey any license under its patent rights nor the rights of others. ON Semiconductor products are not designed, intended, or authorized for use as a critical component in life support systems or any FDA Class 3 medical devices or medical devices with a same or similar classification in a foreign jurisdiction or any devices intended for implantation in the human body. Should Buyer purchase or use ON Semiconductor products for any such unintended or unauthorized application, Buyer shall indemnify and hold ON Semiconductor and its officers, employees, subsidiaries, affiliates, and distributors harmless against all claims, costs, damages, and expenses, and reasonable attorney fees arising out of, directly or indirectly, any claim of personal injury or death associated with such unintended or unauthorized use, even if such claim alleges that ON Semiconductor was negligent regarding the design or manufacture of the part. ON Semiconductor is an Equal Opportunity/Affirmative Action Employer. This literature is subject to all applicable copyright laws and is not for resale in any manner.

PUBLICATION ORDERING INFORMATION

LITERATURE FULFILLMENT:

Literature Distribution Center for ON Semiconductor
19521 E. 32nd Pkwy, Aurora, Colorado 80011 USA
Phone: 303-675-2175 or 800-344-3860 Toll Free USA/Canada
Fax: 303-675-2176 or 800-344-3867 Toll Free USA/Canada
Email: orderlit@onsemi.com

N. American Technical Support: 800-282-9855 Toll Free
USA/Canada

Europe, Middle East and Africa Technical Support:
Phone: 421 33 790 2910

Japan Customer Focus Center
Phone: 81-3-5817-1050

ON Semiconductor Website: www.onsemi.com

Order Literature: <http://www.onsemi.com/orderlit>

For additional information, please contact your local
Sales Representative



ON Semiconductor and  are trademarks of Semiconductor Components Industries, LLC dba ON Semiconductor or its subsidiaries in the United States and/or other countries. ON Semiconductor owns the rights to a number of patents, trademarks, copyrights, trade secrets, and other intellectual property. A listing of ON Semiconductor's product/patent coverage may be accessed at www.onsemi.com/site/pdf/Patent-Marketing.pdf. ON Semiconductor reserves the right to make changes without further notice to any products herein. ON Semiconductor makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of its products for any particular purpose, nor does ON Semiconductor assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation special, consequential or incidental damages. Buyer is responsible for its products and applications using ON Semiconductor products, including compliance with all laws, regulations and safety requirements or standards, regardless of any support or applications information provided by ON Semiconductor. "Typical" parameters which may be provided in ON Semiconductor data sheets and/or specifications can and do vary in different applications and actual performance may vary over time. All operating parameters, including "Typicals" must be validated for each customer application by customer's technical experts. ON Semiconductor does not convey any license under its patent rights nor the rights of others. ON Semiconductor products are not designed, intended, or authorized for use as a critical component in life support systems or any FDA Class 3 medical devices or medical devices with a same or similar classification in a foreign jurisdiction or any devices intended for implantation in the human body. Should Buyer purchase or use ON Semiconductor products for any such unintended or unauthorized application, Buyer shall indemnify and hold ON Semiconductor and its officers, employees, subsidiaries, affiliates, and distributors harmless against all claims, costs, damages, and expenses, and reasonable attorney fees arising out of, directly or indirectly, any claim of personal injury or death associated with such unintended or unauthorized use, even if such claim alleges that ON Semiconductor was negligent regarding the design or manufacture of the part. ON Semiconductor is an Equal Opportunity/Affirmative Action Employer. This literature is subject to all applicable copyright laws and is not for resale in any manner.

PUBLICATION ORDERING INFORMATION

LITERATURE FULFILLMENT:

Literature Distribution Center for ON Semiconductor
19521 E. 32nd Pkwy, Aurora, Colorado 80011 USA
Phone: 303-675-2175 or 800-344-3860 Toll Free USA/Canada
Fax: 303-675-2176 or 800-344-3867 Toll Free USA/Canada
Email: orderlit@onsemi.com

N. American Technical Support: 800-282-9855 Toll Free
USA/Canada

Europe, Middle East and Africa Technical Support:
Phone: 421 33 790 2910

Japan Customer Focus Center
Phone: 81-3-5817-1050

ON Semiconductor Website: www.onsemi.com

Order Literature: <http://www.onsemi.com/orderlit>

For additional information, please contact your local
Sales Representative

Mouser Electronics

Authorized Distributor

Click to View Pricing, Inventory, Delivery & Lifecycle Information:

[Fairchild Semiconductor:](#)

[TIP147T](#) [TIP147TTU](#)

